

Documento riassuntivo della riunione sulla strategy Sezione di Bologna

Una giornata di studio sulla Strategy della Fisica delle particelle si è tenuta a Bologna il 7/11/2024. L'agenda è disponibile al link: <https://agenda.infn.it/event/43756/>. La partecipazione è stata di circa 70-80 persone di cui circa 50 in presenza e i restanti collegati da remoto su zoom.

Il seguente documento è suddiviso in diverse parti:

1. Riassunto degli elementi salienti delle varie presentazioni e delle relative discussioni (punti 1-7)
2. Sommario delle richieste e input emersi dalla tavola rotonda organizzata e moderata dai giovani della sezione di Bologna (punto 8)
3. Sommario finale sugli input per la strategy (punto 9)

In ogni parte si sono sottolineati gli input specifici per la strategy e quelli più generici per l'INFN (in particolare per la parte relativa ai giovani)

1. La visione del Direttore di Bologna

STRATEGIA GENERALE: L'INFN deve rimanere protagonista della Fisica delle particelle con un ampio spettro, quindi non solo della fisica con gli acceleratori, ma con un ruolo da protagonista sulle tecnologie e la progettazione e costruzione dei rivelatori e degli acceleratori, non solo come contributori e fornitori di personale. Questo è quello che ha garantito il ruolo riconosciuto dell'INFN nella fisica nel passato e questo deve continuare ad essere vero nel futuro. Per questa ragione l'R&D per i futuri esperimenti deve essere al centro dell'attività dell'INFN e il CERN ne deve rimanere il fulcro. Non ci sono alternative al programma dei futuri collider del CERN (FCC-ee e hh).

TRAGHETTAMENTO DEI GIOVANI: Contrariamente al passato abbiamo un impegno nel breve-medio termine tra LHC e FCC che è rappresentato da HL-LHC, che ha due vantaggi: traghettarci in termini temporali ai future colliders e consentire la continuità nell'expertise e la sua estensione alle generazioni giovani. Da notare che questo trasferimento è possibile (e necessario) per gli esperimenti ma è più difficile per gli acceleratori: competenze su acceleratori leptonic e adronici sono molto diverse. Ovviamente bisogna fare in modo che i giovani possano imparare e contemporaneamente costruire il loro Curriculum (pubblicazioni, etc..). LHC e HL-LHC deve dare loro quell'esperienza che consenta loro di spiccare e valorizzare le loro competenze e prendere responsabilità nel futuro. Per mettere i giovani nelle condizioni di giocare un ruolo da protagonisti bisogna:

- Creare Grant per giovani su tematiche collider futuri e relativi esperimenti (inclusi su tematiche di acceleratori)
- I senior devono accompagnare e formare, ma lasciare libertà di iniziativa, proposte e azione ai giovani. I senior devono creare le condizioni, i giovani devono sfruttarle.

- Mettere a disposizione dei giovani le infrastrutture delle Sezioni, specie quelle maggiormente coinvolte nell'R&D (criogenia, silici, etc)

DRD: In questo contesto i DRD sono fondamentali per formare i giovani e dare loro opportunità di acquisire competenze, ma bisogna che siano riempiti di sostanza e non siano dei contenitori burocratici. La gestione dei DRD deve assicurare attività reali, ma per questo serve un finanziamento centralizzato opportuno, un controllo e referaggio dei progetti per evitare duplicazioni e avere un riscontro sui finanziamenti. L' R&D deve concentrarsi sulle tecnologie più che congelare le scelte su rivelatori da costruire tra molti anni. Quindi non bisogna inserire nei DRD progetti non finalizzati al futuro o attività relazionate con i detectors presenti, ma a quelli futuri. Non devono essere un modo per avere finanziamenti aggiuntivi alle attività attuali ma su quelle future.

La comunità della fisica delle particelle e l'INFN devono prestare attenzione alle questioni di geopolitica che possono condizionare la capacità di portare a termine i progetti. Un esempio è la questione dei silici tenendo conto che praticamente tutta la produzione mondiale è a Taiwan, con tutti i rischi collegati. Il fatto che la capacità produttiva sia concentrata in aree con rischi geopolitici è un potenziale problema.

DOMANDE SU CUI DOBBIAMO RIFLETTERE:

- Quali sono i partner industriali su cui possiamo contare nel prossimo futuro?
- Abbiamo bisogno di una nuova strategia europea per le Silicon Foundry? Teniamo conto che a Taiwan ci sono il 60% delle fonderie attualmente, e Taiwan è al centro di criticità geopolitiche.
- Che ruolo possono avere in FCC le aziende/fondazioni con cui collaboriamo (ST, FBK)? Possiamo "dotarci" di fonderie "di proprietà" delle Funding Agencies?
- Possiamo portare i rivelatori di oggi ad operare con i danni da radiazione previsti a FCC-hh? Sono sufficienti le facilities che abbiamo per fare i test? L'INFN può fare qualcosa a riguardo, ad esempio attività ai LN?
- Quanti canali siamo in grado di gestire con gli attuali DCS? Dobbiamo fare un passo avanti in questa direzione?
- Dobbiamo investire su qualsiasi idea? Anche su progetti che:
 - a) prevedono milioni di sensori
 - b) prevedono uno scaling di un fattore 100 rispetto al numero massimo di sensori gestito ad oggi per un rivelatore?
 - c) hanno ad oggi costi improponibili?

A questo proposito sicuramente sarà necessario fare delle scelte, ma non è opportuno che siano fatte troppo presto: idee e tecnologie che oggi non ci sono possono dare domani frutti insperati.

- Come possiamo costruire i magneti superconduttori necessari? Gli investimenti sono sufficienti? Il processo di passaggio da prototipi ad industrializzazione dei magneti è il punto critico.

DISCUSSIONE FINALE. La discussione affronta il problema del tempo potenzialmente “morto” tra oggi e future colliders. Viene sottolineato con diverse sfumature che:

- Il deserto che ci fu tra LEP e LHC fu maggiore di quanto non ci sarà, se il programma previsto sarà rispettato, tra HL-LHC e FCC (nella versione ee).
- HL-LHC avrà un programma di fisica relevantissimo in molti campi ed è prioritario che il programma venga svolto in maniera completa.
- HL-LHC è un’opportunità per far crescere i giovani imparando a costruire e runnare rivelatori e imparare a lavorare nelle collaborazioni internazionali di grandi dimensioni. HL-LHC quindi rappresenta un’opportunità unica per i giovani.
- Bisogna stimolare i giovani a fare più cose: non ha senso focalizzarsi OGGI per loro solo su FCC (o altri FA) ma dividere l’impegno tra progetti attuali e futuri. E questo è possibile anche per chi è attualmente impegnato in altri campi (ad esempio astroparticles o programma a targhetta fissa o fisica dei neutrini con acceleratori) che può dedicare anche tempo a future colliders in parallelo a quanto fa oggi.

2. COMPUTING

Previsioni sulla quantità di dati e potenza di computing prevista: l’extrapolazione da LHC/HL-LHC a FCC (per lo meno FCC-ee) non sembra porre particolari criticità. FCC-ee sarà anche meno demanding di HL-LHC. FCC-hh sarà sicuramente di più ma 40 anni dopo HL-LHC. HL-LHC sarà il vero salto. Il messaggio è che l’infrastruttura sembra sufficiente per FCC e comunque il tempo è sufficiente per aggiornarla. Sebbene sia MOLTO DIFFICILE fare previsioni oltre il medio termine (pochi anni), alcuni aspetti sono già chiari, per lo meno dal punto di vista dell’infrastruttura.

- Il modello attuale si basa su T1, T2 e si sta sviluppando il Cloud. T1 rappresentano il 50% delle risorse INFN e recentemente sfrutta la sinergia con l’HPC del Tecnopolo. I T2 nonostante il recente update grazie al PNRR sono probabilmente da ripensare (come avviene ad esempio in Germania) in quanto rappresentano un grosso investimento non razionale per il supporto frazionato necessario (soprattutto in termini di personale per la gestione e il supporto).
- Il Cloud rappresenta un’opportunità per il futuro. Lo sforzo attuale dell’INFN è mettere su un sistema di Cloud a livello Nazionale e integrare i Cloud federati. È una sfida tecnica e gestionale che però nel futuro può garantire un risparmio in termini di supporto. Dovrà garantire l’accesso a tutte le risorse di computing in maniera uniforme. Inoltre, rappresenta una alternativa a Grid che necessita di un notevole supporto.
- L’integrazione con HPC deve procedere (Leonardo + ulteriori macchine in arrivo e future)

INPUT PER L'INFN: sfide

3. Aumento ulteriore del ruolo dell'HPC e dell'integrazione con Leonardo & Co. (già in corso: molte risorse pledge degli esperimenti sono basate sull'utilizzo di Leonardo).
4. Necessaria la transizione da GRID a Cloud.
5. I costi. Qui oltre ai costi per l'hardware, una voce importantissima è quella del personale per il supporto. Il personale forse potrà essere limitato nel suo aumento se si andrà verso una struttura cloud integrata. I Tier2 vanno ripensati in quanto frazionano le necessità di personale per il supporto. Fino ad ora il costo del computing è sempre calato nel tempo e quindi a flat budget si poteva aumentare la potenza di calcolo. Probabilmente non sarà sempre così. Gli esperimenti dovranno fare la loro parte nell'ottimizzazione dell'uso delle risorse di calcolo e storage e fare di più con meno.
6. Modello dello sviluppo di middleware fatto in casa o utilizzo di prodotti commerciali per contenere i costi di sviluppo (personale dedicato)?
7. L'evoluzione tecnologica (GPU, AI, Quantum computing). Il training del QC sarà già possibile dal 2025 al tecnopolo. Sviluppo di modelli di calcolo ibridi.
8. Impatto ambientale (produzione di CO2, cooling dovuto alla densità di potenza richiesta)
9. Sviluppo del Cloud e standardizzazione degli strumenti di computing
10. Modello di calcolo il più uniforme possibile tra esperimenti

CONSIDERAZIONI per la STRATEGY:

1. Lo sforzo per affrontare le sfide del futuro è quello di andare verso modelli di calcolo e infrastrutture condivise e uniformi (hardware, middleware, modello di calcolo, modelli di gestione). Tutto questo deve essere uniformato a livello globale, non solo italiano. JENA dovrà produrre indicazioni e input all'interno della Strategy.
2. Estrapolazioni rispetto a HL-LHC NON sono preoccupanti per lo scenario FCC, soprattutto FCC-ee. Tuttavia, la standardizzazione (vedi sopra) è fondamentale per il risparmio sui costi (in particolare di sviluppo e gestione) e la collaborazione degli esperimenti (ottimizzazione dei modelli di calcolo) è fondamentale per mantenere i costi sotto controllo visto che nel futuro la legge di aumento delle prestazioni a costi costanti potrebbe non essere più valida.

3. I DRD

INPUT PER INFN: Nella discussione sulla presentazione riguardo ai DRD sono emersi i seguenti punti:

- 1) Criticità:
 - a. I DRD sono progetti trasversali orientati su tecnologie e non su aree scientifiche (come le Commissioni INFN). Inoltre, devono armonizzare le attività di Funding Agencies diverse tra loro e con modelli di review e di budget differenti. Sono infine

trasversali anche rispetto ai detectors/accelerators a cui gli R&D sono finalizzati (ovvero sono piuttosto indipendenti dalla specifica decisione finale che verrà fatta sui future accelerators).

- b. La struttura decisionale e di review dei DRD è piuttosto complessa e ridondante.
 - c. La comunicazione tra DRD-Committee e FA e tra FA tra loro all'interno dei DRD deve essere migliorata
 - d. Il modello di finanziamento è pluriennale, contrariamente al modello di finanziamento dell'INFN su base annuale. Come adattare i due modelli?
 - e. Il finanziamento di facilities centralizzate (CERN, National) richiede interazione tra DRDC e FA
 - f. Referaggio e finanziamento sono trasversali rispetto al modello INFN basato sulle Commissioni Scientifiche e questo crea rischi di duplicazioni per l'INFN.
 - g. L'INFN deve monitorare le aree di interesse strategico interagendo con DRDC e assicurare finanziamenti e review dei finanziamenti stessi e dei risultati.
 - h. Manca la scrittura degli MoU. Questo al momento è lo showstopper per il finanziamento aggiuntivo, rispetto a quanto finanziato con il loro budget dalle Commissioni INFN, da parte della Giunta.
 - i. I DRD potranno funzionare se ci saranno finanziamenti specifici addizionali rispetto a quelli provenienti dai budget delle Commissioni.
 - j. Le informazioni all'interno delle CSN INFN non sono state, almeno in alcune CSN, ottimali in questo primo anno. È necessario migliorare in tutte le Commissioni la circolazione delle informazioni e uniformare il modello di referaggio e monitoraggio dei progetti finanziati.
- 2) Azioni intraprese:
- a. Ci sono proposte nell'INFN per l'istituzione di una struttura leggera e trasversale rispetto alle CSN, pur mantenendo i referaggi all'interno di esse, allo scopo di monitorare gli R&D comuni a più CSN, evitare duplicazioni di finanziamenti, monitorare i progetti trasversalmente rispetto alle CSN.
 - b. Là dove si sono identificate infrastrutture urgenti (ad es. macchina DLC) l'interazione diretta INFN-CERN ha consentito un rapido acquisto dell'infrastruttura necessaria. Questo significa che, là dove si sa cosa serve e che attività fare, è possibile velocizzare i processi decisionali e di finanziamento. Questo modello deve essere adottato in maniera estensiva.

4. ELETTRONICA PER IL FUTURO

Settori strategici su cui concentrarsi per acquisire esperienza (attività svolte a bologna):

- 1) Microelettronica: ASIC a piccolo spessore (es. IGNITE), sviluppo pixel monolitici (es: Arcardia), ASIC
- 2) elettronica per SiPM
- 3) Link digitali veloci.

- 4) Circuiti Stampati (ad alta densità di canali), alta densità di potenza, link trasmissione dati ad alto rate, radiation hardness, geometrie inusuali per problemi di spazio (schede rigide e flessibili)
- 5) timing
- 6) ADC e TDC (al picosecondo): in previsione di aumento banda passante e mole di dati (picoTDC).
- 7) Uso Intelligenza artificiale su FPGA

INPUT PER INFN: Necessità per un laboratorio di elettronica nelle Sezioni:

- 1) Rinforzo personpower in microelettronica: Gruppo trasversale tra esperimenti?
- 2) Impegno sul tema dell'integrazione sensori/elettronica
- 3) Necessità di aumentare il tempo per aggiornamento del personale e apprendimento nuove tecnologie
- 4) Aumentare il flusso di giovani (dal dottorato). È forse dovuto al fatto che in questo campo si pubblica meno?
- 5) Percorso privilegiato per giovani che si occupino di elettronica? aumentare attività di divulgazione delle info su attività di elettronica per aumentare interesse dei giovani su laboratorio elettronica.
- 6) Mancanza di giovani ingegneri formati (forse non uguale in sedi vicine a Politecnici?)
- 7) Investire infrastrutture e apparecchiature non di proprietà degli esperimenti ma della sezione e di uso trasversale
- 8) Ridurre carico burocratico (RUP, altro...). Aumentare personale amministrativo dedicato a questo con nuovo personale.
- 9) Inserire sigle di sviluppo elettronica entro gruppo 1 (es IGNITE) è un buon modello perché consente di mettere insieme gruppi di varie sedi e ci si suddivide il lavoro in base alle conoscenze di ciascuno.
- 10) Necessario interfacciarsi col CERN (molte tecnologie sviluppate al CERN) nello sviluppo delle tecnologie contribuendo attivamente ai progetti là sviluppati, non solo come utilizzatori passivi di tecnologie sviluppate al CERN. Contribuire a ciò che viene sviluppato al CERN in maniera propositiva ed attiva e non da semplici utilizzatori.
- 11) Per essere collaboratori del CERN sulle varie tecnologie di punta e non essere solo utilizzatori può essere necessario fare investimenti in infrastrutture e macchinari importanti in base ai progetti su cui si vuole lavorare e contribuire.

5. ATTIVITA' su PROGETTI FUTURI A BOLOGNA:

DUNE FASE-2:

Progetto bandiera per USA e per la prima volta progetto con modello CERN ovvero forniscono infrastrutture e partecipano ad esperimento ma non lo governano. Altra novità è che il CERN è membro di un esperimento fuori dal CERN. Esperimento pensato dall'inizio con due fasi.

Esperimento pensato per tenere sotto controllo tutte le sistematiche e usa fascio ad alta banda per seguire oscillazioni su ampio spettro del periodo di oscillazione. Misure di DUNE-I sono stabilite: mass ordering e forse violazione di CP se grande (HyperK è favorita rispetto a questo), fisica dei neutrini da supernova e solari anche prima di avere fascio, DIS con neutrini, fisica BSM, dark matter.

P5 recommendations di fare DUNE-II con un terzo rivelatore TPC, arrivare a 2 MW col fascio e migliorare il near detector. DOE ha accolto la raccomandazione per DUNE-II (inizio costruzione del terzo detector nel 2029 se ci sono i soldi, ovvero mentre viene riempito il secondo rivelatore).

Delle 3 raccomandazioni quella sul fascio può essere fatta a breve con poca spesa aumentando la frequenza di estrazione.

INFN impegnato nel Near e Far detector. Photon detector system per il Far Det. E in pratica un intero rivelatore per il Near. A Bologna concentrati molto su Near Detector. In particolare, GRAIN e tracciatore nuovo dentro il volume del magnete di KLOE. Questo consente oltre che tenere sotto controllo sistematici sul fascio di neutrini, anche misurare la sezione d'urto nu-H e confronto con i calcoli. Bologna sia su rivelatori che su elettronica grazie a laboratorio elettronica.

Fase-I è priorità ma R&D per fase-II già in corso grazie a collaborazione con GR5 su SiPM e sviluppo Near Detector per fase2 con TPC nel Near Detector.

MESSAGGI PER LA STRATEGY:

- 1) L'aumento della potenza del fascio grazie ad aumento frequenza di estrazione aumenta la capacità di FASE1. Il costo è limitato e a carico del DOE. Rimane solo 3 criostato e upgrade Near Detector.
- 2) FASE1 è ovviamente prioritaria e INFN concentrato su questo. Tuttavia, alcuni aspetti R&D su FASE2 possono già iniziare.
- 3) Per FASE2 bisogna che FASE1 vada bene, che il CERN faccia il terzo criostato e che la comunità internazionale continui a contribuire per il 50% al rivelatore come ora.
- 4) Includere nei piani futuri DUNE-II è consistente con l'idea che la comunità (e l'INFN) non si debbano limitare ai soli progetti di future accelerators.

MUCOLL

VANTAGGI:

- 1) Muon collider ha un vantaggio: muoni non irradiano per synchrotron radiation
- 2) Muone fa circa migliaia di giri in un acceleratore tipo LHC. Se lo si riesce ad accelerare così e poi iniettarlo in un tunnel più piccolo si può pensare a un muon collider. Inoltre, collisioni di muoni a 10 TeV corrispondono a pp a 70 TeV. C'è una corrispondenza tra muoni a 10 TeV e pp a 70 TeV.
- 3) Inoltre, sono 2 collisionatori contemporanei: in annichilazione e WW fusion (la cui sezione d'urto aumenta con energia)
- 4) Combina fisica di precisione e di scoperta (Higgs, produzione tt, ricerca minimal DM)

- 5) La luminosità inoltre aumenta con energia (contrariamente a ee). Questo compensa il calo di sezione d'urto per annichilazione.
- 6) Consumo energetico è vantaggioso per la non perdita di energia
- 7) Infine, è compatto. 10 Km invece di 100 Km per ee o pp. possono essere usati tunnel già esistenti; tuttavia, l'impatto dell'uso di infrastrutture già esistenti è da valutare attentamente.

STATO/PROBLEMI:

- 1) serve fare R&D perché non ci sono elementi per dire che non è fattibile, ma manca ancora moltissimo per dire che si può fare. L'R&D da fare è stato largamente identificato.
- 2) Attività INFN concentrata su production target, muon cooling, magneti fast ramping, problemi di fondo (neutrini ed elettroni) e relativa heat dissipation. Inoltre, sullo studio dei physics cases.
- 3) Progetto assolutamente innovativo che non ha precedenti. Con tutti i problemi connessi. Tutto da provare.
- 4) Finanziamenti piuttosto limitati rispetto a FCC:
- 5) Non essendo near term project CERN il finanziamento è su base annuale.
- 6) Tutti i componenti della catena di accelerazione e la loro combinazione devono essere provati.

INPUT PER STRATEGY:

- 1) Fisica complementare a FCC-ee. È necessario continuare a studiare i physics cases di mucoll.
- 2) Tecnologia interessantissima e nuova. Non si sono mai accelerati muoni al TeV. L'R&D deve continuare.
- 3) USA molto interessato in R&D. INFN deve continuare lavoro su Fisica, Detectors e Acceleratore
- 4) È necessario costruire un dimostratore. Necessari finanziamenti sufficienti per dimostrare la tecnologia.
- 5) Sfruttare le sinergie tra le tecnologie acceleratrici/magnetici tra FCC e mucoll
- 6) Una possibile strategia, visto l'interesse degli US, e se FCC verrà approvato, è quella di fare mucoll negli USA, partendo anche già dal dimostratore.
- 7) Anche se oggi il dimostratore eventualmente dovesse dare risultati non positivi, lo sforzo di R&D non deve essere interrotto.
- 8) Anche se mucoll e relativo dimostratore dovesse essere fatto in USA, è da incoraggiare la partecipazione del CERN nello sviluppo (modello tipo DUNE).

FCC-ee

FISICA:

- 1) Tutti gli osservabili fino ad ora suggeriscono un mondo molto SM. Questo impone scelte precise sul programma di fisica da fare e relativi acceleratori.
- 2) Fisica FCC-ee: 4 fasi
 - a. Z con 10^5 stat rispetto a LEP
 - b. Higgs nel polo WW
 - c. ZH pole
 - d. Top pair pole
- 3) FCC-ee da ordini di grandezza di più su fisica EW rispetto al passato, sia ee che pp. Non solo nel settore Higgs ma nel settore EW.

BOLOGNA: Impegnata su Fisica, simulazione e detector concept IDEA. Attività avanzata. Simulazione avanzata. Tecnologia muRWell + HiDRA (dual-readout calorimeter). Attività teorica (generatori, predizioni ad alta precisione).

INPUT per STRATEGY:

- 1) Fisica di FCC-ee consente misure di SM ad altissima precisione (almeno 1 ordine di grandezza meglio di ee precedenti e LHC)
- 2) Misure di precisione che difficilmente saranno possibili a HL-LHC saranno invece possibili a FCC-ee, ad esempio l'estrazione della larghezza naturale del bosone di Higgs in modo model independent.
- 3) Investimento utile per fare poi FCC-hh specie per le infrastrutture
- 4) Schema finanziamento credibile e in ramp-up spalmato su molti anni
- 5) Lascia spazio per molti ricercatori. Grandi numeri di collaboratori per 4 esperimenti e prospettiva dopo su FCC-hh
- 6) Per i giovani è una prospettiva stimolante e se si lavora in parallelo su HL-LHC è un'opportunità. HL-LHC sarà il training. FCC il fine
- 7) FCC-ee è alla portata tecnologica e in tempi non estremamente lunghi dopo HL-LHC
- 8) FCC-ee è sicuramente superiore a ILC (Japan) e complementare a muon collider (USA?).
- 9) Scenario più complesso se in Cina si farà un circular collider ee. Ma noi dobbiamo procedere per la nostra strada indipendente dalle scelte della Cina. Questo ovviamente implica un impegno di personale e finanziario di difficile reperimento per partecipare a 5 collaborazioni (4 in FCC e 1 in Cina)
- 10) Bisogna convergere su un solo progetto nel medio termine. E FCC-ee è il naturale esito.
- 11) Collaborazione con la Cina è complessa. È un desiderio poter collaborare, ma tenere presente che partecipare ad un esperimento in Cina, oltre che aver problemi geopolitici al momento, renderebbe difficile poter prendere parte alle decisioni. In Cina la politica cinese avrà un ruolo fondamentale. Inoltre, l'organizzazione è diversa, e il modo di procedere è diverso. Un esperimento sarà interamente cinese. L'altro sarà con collaborazione internazionale ma su cui ci sarà poca possibilità di decidere. L'alternativa a FCC-ee anche se si fa l'analogo in Cina non è un linear collider che sarebbe inferiore. Bisogna procedere indipendentemente e a prescindere dalle decisioni cinesi e iniziare a creare le infrastrutture. L'unica possibilità di tuning della strategia a seconda di ciò che avverrà in Cina e della disponibilità in tempi più brevi della tecnologia per i magneti per FCC-hh è anticipare FCC-

hh se l'energia accessibile non è troppo più bassa della baseline e comunque sufficiente per il programma di fisica previsto.

- 12) Il CERN deve uscire con una strategia UNICA. Strategia che chiarisca cosa si farà, questo anche come messaggio chiaro ai giovani che in caso contrario si rivolgeranno altrove. La strategia ottimale è FCC-ee seguito da FCC-hh.
- 13) Il messaggio sulla scelta riguardo alla strategia deve coagulare in maniera compatta tutta la comunità scientifica a livello internazionale per convincere i livelli politici e finanziari delle FA che la devono finanziare. E quindi bisogna essere convinti scientificamente della scelta.

6. ACCELERATORI

HL-LHC: magneti HL-LHC assemblati al CERN con nuova tecnologia Nb3Sn. Nuova tecnologia che consente di aumentare il campo rispetto a LHC. Allineamento automatico per compensare movimenti del terreno e gli IP siano sempre nel centro degli esperimenti. Magneti prodotti in USA, Cina, Spagna, Italia, Giappone. Italia contribuisce alla concezione e costruzione di alcuni magneti. Inoltre, ci saranno le Crab Cavities. Sono già state usate su macchine ad elettroni. Prima volta in hadron collider. Ruotano il fascio in maniera da essere sempre head-on anche in presenza di crossing angle. I piani di incrocio possono essere cambiati (ma opposti tra CMS e ATLAS). Tuttavia, alcuni componenti rompono la simmetria (le Crab Cavities) e definiscono chi sarà nel piano verticale e chi nell'orizzontale. Solo 1 cambiamento possibile nel corso di HL-LHC ed è poi irreversibile.

FCC: strategia corrente prima FCC-ee e poi FCC-hh (che però può comprendere anche ioni e anche eh). Alcuni pensano anche di mettere nel tunnel di FCC in un qualche momento lontano anche mucoll. Strategia: pago uno e ho due macchine con la stessa infrastruttura. Fare FCC-ee + hh dopo consente tempi brevi tra HL-LHC e FCC-ee. L'enfasi è FCC-ee al momento (contrariamente alla prima strategy in cui era FCC-hh).

DATE: HL-LHC fine nel 2041. FCC-ee: 2048-63, FCC-hh: 2074-99. Muoni se si vuole fare sarà nel 2100. Scheda basata su esperienza LHC ed è realistica. FCC-hh molto in là per consentire R&D su magneti. Inizio scavo tunnel 2031-32.

FCC-ee:

- 1) 4 fasi con energie diverse e obiettivi diversi di fisica. Cambiamenti hardware saranno necessari tra le fasi.
- 2) Sfide: non tanto i magneti ma gestione radiazione sincrotrone, allineamento, ottica. Ottimizzazione delle ottiche è in corso.
- 3) Review di mid-term per il programma FCC hanno analizzato il progetto. Risultato: nessuno show-stopper.

FCC-hh: rispetto al TDR cambiamenti. Ristretta la circonferenza e ridotto campo dipolare. Ora 14 Tesla (E c.m. 84 TeV). Opzione con High Temp. Superconducting magnets può arrivare a 20 T ovvero 120 TeV.

PHYSICS BEYOND COLLIDERS: programma lanciato nel 2016 per capire come sfruttare la catena di acceleratori del CERN complementare a FCC. Quindi fisica bersaglio fisso (2CRIST, SHIP, altri). Scopo è anche diversificare visto la presenza di iniettori flessibili che consentono di fare fisica diversificata. Durante il LS3 non c'è fisica in LHC, ma in fixed target si. Questo risponde all'istanza di non concentrarsi solo sui colliders futuri.

COMMENTI PER STRATEGY:

- 1) FCC-ee sostanzialmente esiste, senza show-stopper. Non è facile ma è fattibile nei tempi previsti.
- 2) FCC-hh: I 16 Tesla è un magnete complicato. Il 14 Tesla selezionato ora è qualcosa che è più facile. Tuttavia, una cosa è dire che ci sono stati dimostratori che hanno superato i 14 Tesla. Poi però c'è la produzione industriale. Sono due cose diverse. Ci saranno 4500 dipoli. Tutti devono essere perfetti. Il lavoro di trasferimento di conoscenza all'industria non è banale. LHC è stato un successo di industrializzazione. FCC ha lo stesso problema ma con numeri ancora più alti. Ad es. il Nb3Sn è fragile e quindi ancora più complicato. Quindi 14 Tesla sono fattibili ma l'industrializzazione è una sfida.

7. FISICA

SM & BEYOND

Storicamente alternanza di colliders leptonici e adronici. Perché ad ogni scala di energia nuova si trovava quanto ci si aspettava. Dopo la scoperta misure di precisioni su quanto scoperto. Per la prima volta nella storia recente non abbiamo idea di cosa aspettarci di fisica nuova e dove cercarlo e a che energie. Sapevamo cosa cercare e facevamo il collider migliore per trovarlo e studiarlo con precisione. Alcuni esempi di domande aperte:

- 1) Proprietà Higgs (è pointlike)? si può studiare leptone-leptone ad alta energia per vedere come si comporta la sezione d'urto di produzione in funzione dell'energia.
- 2) Higgs couplings: couplings in funzione della massa per vedere se anche l'Higgs sta sulla retta come le altre particelle. La deviazione dei coupling dallo SM è funzione della scala a cui appare la nuova fisica. Misurare il coupling all'1% mette limiti all'1% sullo SM. Ad oggi 10-20%. Alla fine di HL-LHC saremo presumibilmente al 2-4%.
- 3) EW restoration accessibile a HL-LHC forse.
- 4) Su molti degli Higgs coupling previsto un miglioramento di un fattore 10 con FCC-ee
- 5) Perché FCC-ee contribuisce a bound preciso su coupling higgs e quindi scala nuova fisica. Test di precisione su SM predictions nel settore EW e Higgs couplings in diversi range di energia nei diversi runs.
 - a. Flavour physics al polo della Z grazie a statistiche enormi, misure pulite, boost dei "b" e "tau" (decadimenti rari del b, lepton-flavour violation, fisica del tau)

- b. EW sector: al polo della Z test di precisione con miglioramento della precisione di 2-3 ordini di grandezza e sensitività a scala di nuova fisica fino a 100TeV. La misura di ZH può essere fatta in pochi giorni.
- c. Test dell'Higgs scalar singlet
- d. ALPS: FCC-ee può testare masse piccole e coupling deboli.
- e. Un LEP3 nel tunnel di LHC può fare la fisica di FCC-ee (tranne ttbar) ma cala luminosità di un fattore 5, precisione cala per la statistica, energy resolution cala, consumo energetico maggiore. Costa un fattore 5 in meno (no tunnel), ma mancano gli iniettori. Tempi possibilmente inferiori a FCC-ee ma non molto in quanto l'installazione di un eventuale LEP3 dovrebbe attendere la fine di HL-LHC e il suo smantellamento e non potrebbe procedere in parallelo.
- f. FCC-hh a energia downscalied a 72 TeV usa tecnologia apparentemente a disposizione. Si potrebbe fare senza passare da FCC-ee. Opzione se la Cina fa CEPC e completa le misure durante HL-LHC. FCC-hh downscaled potrebbe entrare in funzione nel 2050 quindi non molto dopo FCC-ee. Il potenziale rispetto a FCC-hh a 100 TeV si riduce in maniera modesta anche se non in tutti i settori.
- g. Timeline FCC-hh downscaled simile a FCC-ee. In caso CEPC sia fatto si può fare FCC-hh con magneti più semplici a campo più basso ed energia a 70 TeV. Può anticipare FCC-hh saltando FCC-ee in tempi simili. I costi di FCC-hh anche a energia ridotta sono molto più elevati rispetto a FCC-ee. Quindi esiste un piano B con costi diversi la cui perdita in termini di fisica deve essere ancora considerata con attenzione ma potrebbe essere moderata.

INPUT PER LA STRATEGY:

FCC-ee nelle sue 4 fasi seguito da FCC-hh offre un pacchetto completo per l'esplorazione di scale di alcune decine di 10 TeV in modo indiretto e poi diretto. Da notare che anche un programma con FCC-hh ad energia attorno ai 70-80 TeV senza la fase iniziale e+e- deve essere studiata in modo dettagliato, come via alternativa.

FISICA DEL FLAVOUR

1) Dopo HL-LHC precisione enorme sui parametri del Triangolo Unitario, grazie alle misure che faranno Belle-II (assumendo 50/ab) e LHCb Upgrade-II (attesi 300/fb alla fine della fase HL-LHC). Tale scenario prevede significativi miglioramenti dal punto di vista teorico (in particolare lattice QCD), che ad oggi sono considerati più che fattibili. Tali misure saranno in grado di stabilire dei limiti sulle masse di particelle BSM fino ai 10 TeV, negli scenari in cui si assume una struttura degli accoppiamenti di flavour CKM-like per le particelle BSM. È quindi fondamentale portare a compimento il programma di Fisica del Flavour a HL-LHC.

2) FCC-ee: sarà una flavour factory con $\sim 5 \times 10^{12}$ Z0: circa x50 il campione di adroni B di Belle-II; facendo assunzioni piuttosto ottimistiche sulle efficienze di ricostruzione dei rivelatori a FCC-ee si possono prevedere yields di segnale per adroni B simili o poco inferiori al reach di LHCb

Upgrade-II. Sui decadimenti del charm, LHCb Upgrade-II rimane irraggiungibile, rinforzando la necessità di sfruttare a pieno HL-LHC. Altri acceleratori ee (ILC, CLIC) assolutamente non competitivi. FCC-ee mette insieme quasi tutti i punti forti di Belle2 (tranne entanglement delle coppie BB per misure di CPV time-dependent) e LHCb. Alcune misure saranno esclusivamente possibili a FCC-ee. Qui di seguito alcuni esempi:

a. Flavour changing neutral current in transizioni $b \rightarrow sll$, con neutrini al posto di leptoni carichi. Tali misure coi neutrini non sono possibili a LHCb Upgrade-II e richiedono elevata statistica non accessibile a Belle-II.

b. Decadimenti con tau nello stato finale, sia semileptonici che in transizioni $b \rightarrow sll$. La ricostruzione dei tau è molto difficile a LHCb e la statistica di Belle-II non è sufficiente per alcuni casi (e.g. $b \rightarrow stt$). Fondamentale è la risoluzione spaziale nella ricostruzione dei vertici secondari dei tau, necessaria al livello del micron.

c. Lepton flavour violation: FCC-ee può stabilire un limite sul $\tau \rightarrow 3\mu$ a livello di 10^{-10} , ~2 ordini di grandezza meglio di LHCb e Belle. Possibile anche $\tau \rightarrow \mu \gamma$

3) Dal punto di vista dei rivelatori, tre cose sono fondamentali: PID adronica (in particolare separazione K/π); risoluzione dei vertici secondari; risoluzione spaziale ed energetica dei calorimetri EM per gamma e π^0

4) FCC:hh

a. Si prospetta un fattore x200 di statistica rispetto a LHCb Upgrade-II, ma in un ambiente estremamente complesso e difficile: elevatissima bandwidth del rivelatore, elevatissimi fondi e dosi integrate, difficilissimo fare particle identification adronica.

b. Studi preliminari mostrano distribuzioni cinematiche simili a LHC: un esperimento dedicato non richiederebbe dimensioni particolarmente maggiori di LHCb. Possibile sfruttare l'elevata sezione d'urto per operare in regioni meno estreme perdendo un po' di accettazione geometrica.

INPUT PER STRATEGY:

Fondamentale portare a compimento il programma di fisica del flavour di HL-LHC con LHCb Upgrade-II. FCC-ee fondamentale prima di FCC-hh, in quanto unico esperimento in grado di fare una serie di misure inaccessibili a FCC-hh e agli esperimenti precedenti (Belle-II e LHCb Upgrade-II). Fondamentale considerare la presenza di rivelatore specificatamente progettati per misure di fisica del flavour come fatto per LHC.

QUANTUM OBSERVABLES

Idea di misurare entanglement nello spin (e nel flavour) delle particelle prodotte. Modo diverso di usare i dati cercando nuova fisica in maniera diversa rispetto al solito. Modo di aggiungere agli

osservabili soliti quelli relativi all'entanglement per mettere constrain addizionali per la ricerca di nuova fisica. Non ricerca deviazioni SM ma cercare qualcosa fuori dalla Meccanica Quantistica.

Si può usare la relazione tra lo spin della particella che decade e i prodotti del decadimento debole che dà una correlazione tra i due spin. Per essere sensibili all'entanglement non tutto lo spazio delle fasi è opportuno. Bisogna andare in zone dello spazio delle fasi ristretto.

Si è iniziato a LHC (ATLAS e CMS) nel settore del top. Si stanno esplorando anche in Belle nuovi osservabili. Ad esempio, in HL-LHC si può misurare la Bell inequality violation nell'Higgs (ZZ e WW), tra i 2b di decadimento della Z, oppure entanglement tra 1 top e i prodotti di decadimento dell'altro top nella produzione $t\bar{t}b\bar{b}$. Infine, $Z/\gamma \rightarrow \tau\tau$. Per fare questa misura ci vuole un lepton collider con fasci polarizzati. Serve inoltre avere:

- 1) Ricostruzione dell'evento completo e chiuso
- 2) Selezionare regione spazio fasi dove è massimizzato
- 3) Pulizia del segnale
- 4) Incertezze teoriche ridotte

Questo implica che servono certi tipi di colliders: lepton colliders (per alcune misure con fasci polarizzati). La fase di FCC-ee sul polo della Z è fondamentale. FCC-hh non è un'opzione in questo caso.

INPUT PER STRATEGY:

Misure di quantum observables potrebbero consentire di osservare nuova fisica in modo alternativo rispetto alle ricerche standard. Molte misure sono possibili, ma necessitano di una precisione e pulizia raggiungibili solo con FCC-ee (e alcune di queste misure necessitano fasci polarizzati). FCC-hh non è una opzione utile per questo tipo di misure.

8. ISTANZE PRESENTATE DAI GIOVANI

ISTANZE DEI GIOVANI dai PhD ai giovani ricercatori/tecnologi: le istanze sono da intendersi come INPUT ALL'INFN per mettere i giovani nelle migliori condizioni per affrontare i progetti attuali e quelli futuri.

- 1) Necessario garantire percorsi di formazione strutturati e continuità contrattuale per preservare e tramandare il know-how di costruzione, commissioning e operation per FCC
- 2) Possibilità di incarichi di responsabilità per giovani ricercatori, affiancati da figure senior per un efficace passaggio di conoscenze.
- 3) Contratti di breve durata penalizzano continuità e sviluppo di competenze
- 4) Valorizzare competenze chiave come sviluppo software, commissioning e attività di servizio, offrendo contratti stabili e ruoli riconosciuti.
- 5) Evitare carichi di lavoro duplicati per PhD e post-doc coinvolti in attività sia su FCC che su esperimenti LHC, favorendo integrazione e coerenza tra attività.
- 6) Consentire a chi lavora su FCC di firmare pubblicazioni di esperimenti running, anche con un 50% di tempo dedicato, per garantire crescita professionale e visibilità.

- 7) estendere opportunità di permanenza al CERN, compensando il limite di durata rispetto a dottorati esteri → simil-fellow per future colliders estesi (ottima iniziativa ma troppo brevi)
- 8) Definire linee guida comuni per competenze e operation tra FCC e LHC, valorizzando expertise trasversali e agevolando la mobilità tra i progetti.
- 9) Valutare una redistribuzione organica delle competenze INFN nelle operazioni future, favorendo accesso a nuove risorse e formazione per aree carenti.
- 10) Proporre agevolazioni logistiche (es. appartamenti per missioni lunghe) per ridurre i costi e reinvestire nei contratti dei giovani ricercatori (estensione esperienza già in atto per USA).
- 11) CONCORSI: In previsione dello sviluppo di un FCC, necessità di rivisitare piano assunzioni perché con quello attuale non è garantita continuità lavorativa
- 12) CONCORSI: Con tempistiche non definite (ogni quanto e quando è il concorso? Che modalità ci sono?) viene richiesto di fermarsi per mesi per la preparazione (cosa non sempre possibile per chi non è INFN in quel momento)
- 13) Mantenere all'interno dell'ente il know-how necessario per sviluppare esperimenti LHC-like
- 14) Dare responsabilità riconosciute fin da subito, ad esempio affiancare ad ogni posizione senior, una posizione junior per avere un passaggio di conoscenze nelle dinamiche decisionali
- 15) Investire nei giovani che già lavorano in esperimenti running durante LHC-HL perché il know-how appreso qui sarà fondamentale per essere tramandato ai nuovi giovani coinvolti nei futuri acceleratori
- 16) Creare linee guida generali condivise da più esperimenti running su operation, commissioning
- 17) Aumentare i punti organico dell'ente per non limitare l'unica linea di ricerca dell'ente alla fisica dei futuri acceleratori. Nemmeno CSN1 può essere ridotta ai soli futuri acceleratori perché la possibilità di lavorare in esperimenti differenti offre la possibilità di sviluppare altre competenze, con tempistiche differenti
- 18) Riconoscimento a chi si occupa di sviluppo software

NUOVE TECNOLOGIE:

- 1) Definire strategia per promuovere un "buon utilizzo" di AI in modo da massimizzare il potenziale e per sviluppare propri AI all'interno dell'ente
- 2) Formazione e promozione tra i giovani del Quantum Computing (partecipazione a progetti esistenti principalmente da parte di membri staff)

OUTPUT ECR per ECFA

- 1) Lavoro e carriera:
 - a. Necessità di riconoscimento del lavoro fatto sui FC: meno pubblicazioni non può essere sinonimo di curriculum più povero al momento dei concorsi
 - b. Difficoltà di reclutamento per FC: progetti percepiti come meno certi/stabili
 - c. Chi lavora su hardware, software e R&D si sente spesso penalizzato verso chi fa analisi
 - d. PhD e PostDoc che lavorano solo su FC non hanno fatto il loro ingresso in collaborazioni più grandi, specializzandosi su una cosa (analisi MC, specifici aspetti hardware) → CV molto specializzato → meno possibilità per il futuro, mancanza di

diversificazione. Si è trattato anche di tematiche più generali riguardanti gli ECR all'interno dell'ente

- 2) Lavoro nell'INFN:
 - a. Poca chiarezza riguardo al futuro lavorativo (concorso da ricercatore: modalità, posti e tempistiche)
 - b. Mancanza di rappresentanza ufficiale degli ECR all'interno dell'ente, che potrebbe anche andare ad aiutare del punto precedente, favorendo diffusione di informazioni in maniera più chiara e ufficiale
 - c. Servono posizioni a lungo termine, su progetti FC e non, di durata sufficiente per poter sviluppare il progetto → visibilità del progetto e prevenzione della fuga all'estero

DISCUSSIONE FINALE:

- 1) Percorso per acceleratoristi non esiste dopo il dottorato specifico a Roma. Questo impedisce la capacità di acquisizione e trasferimento delle competenze nel campo degli acceleratori e di mantenere i giovani formati col dottorato in questo settore nell'orbita INFN.
- 2) Rinforzare SF ½ esperimenti e ½ FC. La strategia 50% - 50% è il modo migliore per aumentare la partecipazione a FC ma contemporaneamente lavorare su LHC e HL-LHC. Bisognerà modificare la regola 70% per giovani in queste condizioni.
- 3) Limiti nelle possibilità di nuove assunzioni a parità di fondi. Fondi esterni utili ma vincolano la libertà di ricerca. Necessità di chiarezza nella carriera dei giovani tramite una tenure track.
- 4) Modalità di selezione nei concorsi (titoli) è cosa complicata. La forma migliore per valutare i CV è complessa e l'INFN ci lavora da tempo. Gli input dati possono e devono essere estesi al management INFN
- 5) Importante è non concentrarsi al 100% su FC. Specie per i giovani, sarebbe un errore dell'Ente e delle persone lavorare al 100% su FC. Il suggerimento è impegnarsi in FC su qualche tema specifico per una frazione del tempo, ma il resto del tempo deve essere dedicato ad altri esperimenti in funzione o in qualche R&D e non solo per la fisica con acceleratori. Per arricchirsi bisogna lavorare su diversi campi senza frazionare troppo ma non concentrandosi su una sola cosa, specie se è un'attività per FC. Importante differenziare le esperienze. L'Ente deve assicurarsi che CV in cui ci sia impegno su FC ma differenziato anche su altri progetti vengano opportunamente valutati.
- 6) La regolarità dei concorsi è fondamentale e l'INFN si è già impegnato in questo. È richiesta maggiore chiarezza sulle modalità. Inoltre, il tipo di concorso che prevede di studiare tornando sui banchi di scuola è estremamente time consuming e blocca l'attività per mesi per prepararlo.
- 7) Salvo un caso, non vengono fatti concorsi regolari dedicati agli acceleratoristi.
- 8) Necessario modificare la regola del 70% per i post-doc impegnati su FC, ad esempio considerando FC come sigle sinergiche agli esperimenti LHC. Questo consentirebbe di assicurare a chi lavora in FC un numero utile di pubblicazioni.
- 9) Chi lavora in FC ha a disposizione tipicamente molte presentazioni a conferenze e con poche firme. Questo è da sfruttare a vantaggio dei giovani.

9. INPUT PER LA STRATEGY: considerazioni di sommario

Dalla discussione nella Sezione di Bologna sono emersi i seguenti messaggi:

- 1) La comunità della fisica delle particelle deve raggiungere un consenso scientifico solido e univoco sulla strategia per i future colliders. Questa strategia deve chiarire cosa si farà e indicativamente in che tempi, anche come messaggio chiaro ai giovani che in caso contrario si rivolgeranno altrove. Coagulare in maniera compatta tutta la comunità scientifica a livello internazionale è fondamentale per convincere i livelli politici e finanziari delle FA che la devono finanziare.
- 2) Il CERN rimane il centro del programma di fisica delle particelle nel futuro
- 3) Il programma di fisica di HL-LHC deve essere portato a termine in maniera completa incluso l'upgrade-II di LHCb
- 4) La strategia che massimizza l'output di Fisica è rappresentata da FCC-ee seguito da FCC-hh
- 5) In presenza di ostacoli di carattere finanziario o geopolitico (ad es. la concorrenza con il programma cinese di CEPC), l'opzione di andare direttamente dopo HL-LHC a FCC-hh ad una energia di circa 80 TeV, apparentemente accessibile con la tecnologia attuale (fatti salvi i problemi di industrializzazione dei magneti) rappresenta un'opzione da non scartare sebbene non ottimale per alcuni settori della fisica (fisica del flavour, quantum observables ad esempio)
- 6) Progetti complementari come muon collider devono essere supportati con finanziamenti e infrastrutture in maniera più solida di quanto fatto fino ad ora in quanto progetti innovativi, in molti aspetti complementari e unici per svariati campi di ricerca sia di fisica delle particelle che di fisica degli acceleratori e di sviluppo tecnologico.
- 7) La comunità non deve concentrarsi esclusivamente sui progetti di future accelerators. La ricchezza della fisica delle particelle non può prescindere dai programmi fixed target, dalla fisica dei neutrini con e senza acceleratori, dalla fisica astro particellare
- 8) L'R&D necessario per lo sviluppo dei rivelatori futuri deve essere coordinato tra le Funding Agencies e con il CERN. In questo contesto l'iniziativa dei DRD rappresenta una ottima strada, ma l'organizzazione dei DRD sia a livello nazionale che tra le FA e il CERN deve essere migliorato per renderlo efficace, snello e focalizzato senza sprechi ai progetti futuri
- 9) È necessario che le FA rendano appetibile ai giovani ricercatori e tecnologi i progetti futuri con programmi di formazione e carriera ottimizzati. HL-LHC e gli altri programmi con e senza acceleratori devono essere sfruttati per formare i giovani, garantire loro competenze e responsabilità, formarli nella costruzione, maintenance e running dei rivelatori e nelle loro capacità di lavorare in contesti internazionali numerosi e competitivi. In questo contesto ogni iniziativa che favorisca a livello di concorsi, carriera, pubblicazioni la partecipazione, contemporaneamente ad esperimenti attuali, la partecipazione a R&D o a sviluppo di hardware, Firmware e Software per esperimenti futuri deve essere perseguita.
- 10) Percorsi dedicati a giovani impegnati nel campo degli acceleratori sono altamente auspicabili per contribuire allo sforzo tecnologico del CERN e aumentare le competenze dell'INFN in materia di acceleratori.
- 11) La collaborazione con programmi di fisica con acceleratori in altri paesi deve essere ricercata se le condizioni lo consentono (vedi il caso della Cina ma anche se a livello diverso degli USA)
- 12) È necessario individuare le tecnologie di avanguardia nei settori della sensoristica, dell'elettronica e del computing su cui concentrare gli sforzi per l'R&D e la progettazione dei

rivelatori del futuro. È altresì necessario dotare i laboratori delle infrastrutture e dei macchinari necessari per tale R&D.

- 13) Non è opportuno fare scelte su tecnologie e rivelatori troppo premature e definitive per non precludere idee e tecnologie che dovessero manifestarsi nei prossimi anni.
- 14) Nel settore del computing è necessario ripensare il modello di calcolo attualmente usato per LHC per uniformare i modelli di calcolo degli esperimenti e le infrastrutture distribuite al fine di ridurre i costi soprattutto in termini di personale dedicato al supporto e alla maintenance.