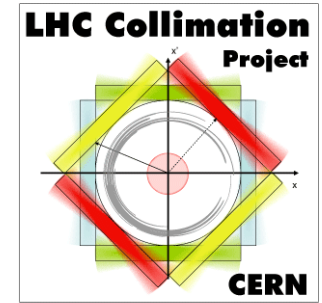




Manipolazione di fasci adronici con cristalli piegati negli acceleratori circolari

09/04/2015 – IFAE 2015, Roma Tor Vergata

Roberto Rossi

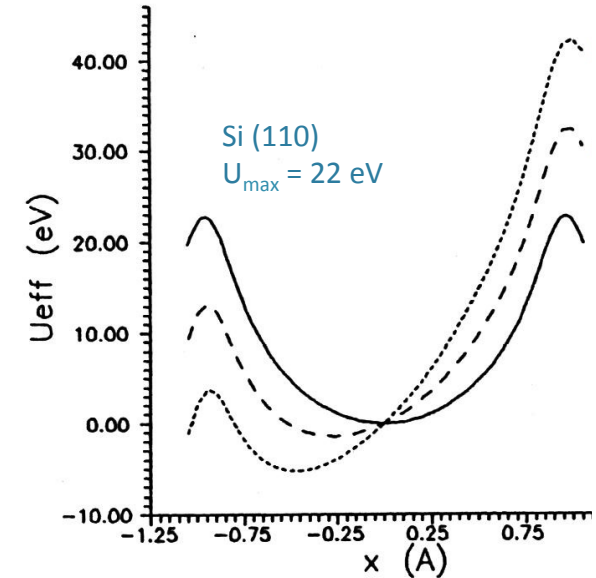
Gianluca Cavoto, Stefano Redaelli, Walter Scandale

Sommario

- Channeling nei cristalli
- Collimazione di fasci adronici
- Test di collimazione con cristalli ad SPS
- Previsioni del sistema con cristalli su LHC
- Nuove applicazioni

Channeling nei cristalli

Lindhard: “Sotto ipotesi di angolo di impatto piccolo, possiamo considerare il potenziale medio generato dal piano reticolare come un potenziale continuo.”



Channeling nei cristalli

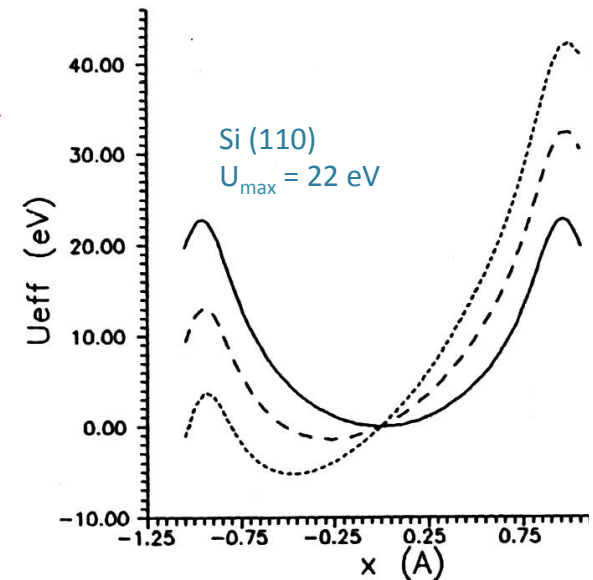
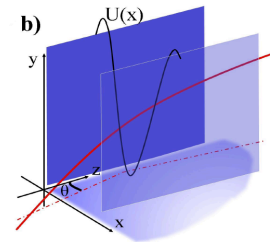
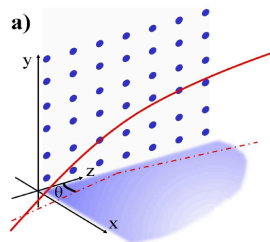
Lindhard: “Sotto ipotesi di angolo di impatto piccolo, possiamo considerare il potenziale medio generato dal piano reticolare come un potenziale continuo.”

Regime di **Channeling** :

l'impulso trasverso < barriera della buca.

Angolo Critico

$$\theta_c = \sqrt{\frac{2U_{max}}{pv}}$$



Channeling nei cristalli

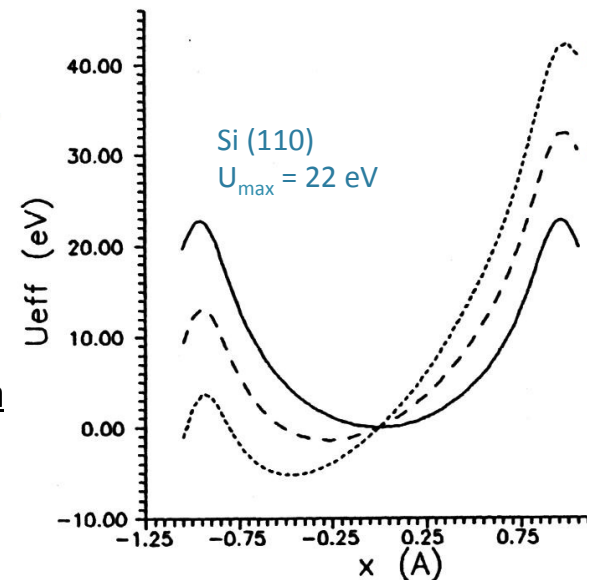
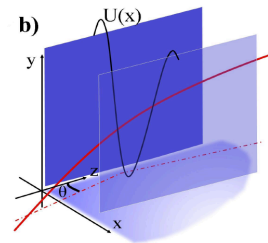
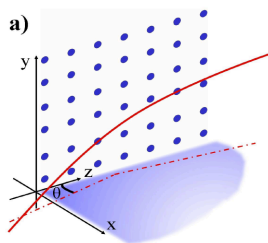
Lindhard: “Sotto ipotesi di angolo di impatto piccolo, possiamo considerare il potenziale medio generato dal piano reticolare come un potenziale continuo.”

Regime di **Channeling** :

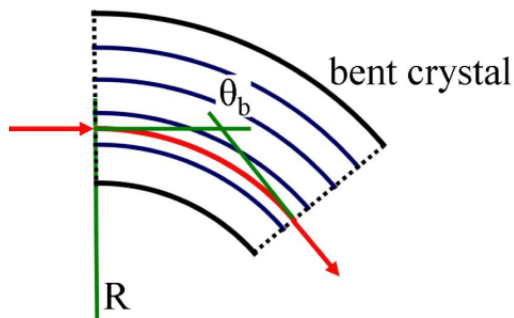
l'impulso trasverso < barriera della buca.

Angolo
Critico

$$\theta_c = \sqrt{\frac{2U_{max}}{pv}}$$



Le particelle sono intrappolate nel canale, quindi se imprimo una curvatura canale posso modificare la direzione delle particelle di un angolo $\theta_b = l/R$



Channeling nei cristalli

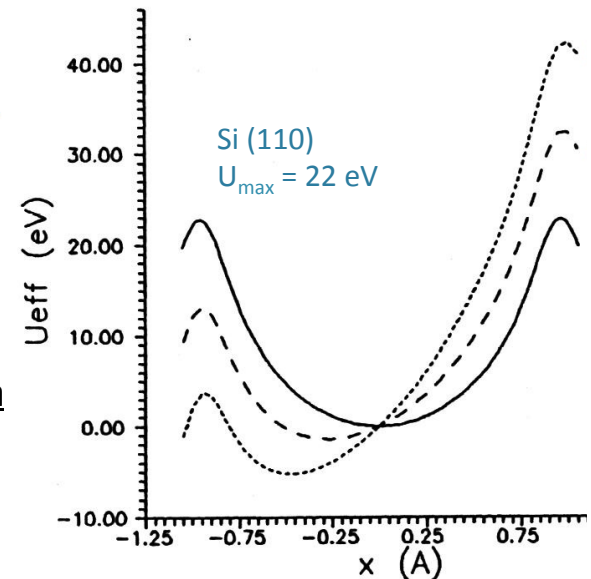
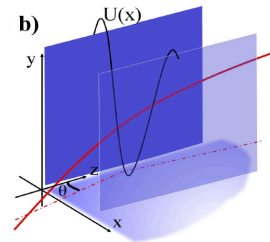
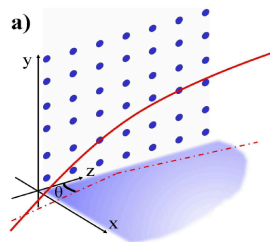
Lindhard: “Sotto ipotesi di angolo di impatto piccolo, possiamo considerare il potenziale medio generato dal piano reticolare come un potenziale continuo.”

Regime di **Channeling** :

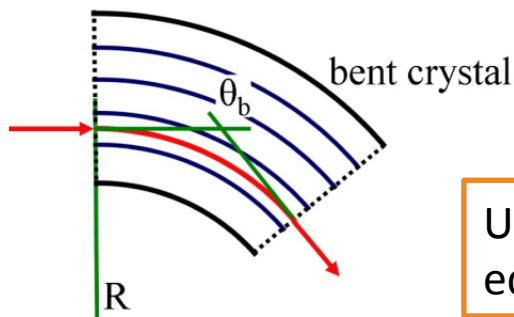
l'impulso trasverso < barriera della buca.

Angolo
Critico

$$\theta_c = \sqrt{\frac{2U_{max}}{pv}}$$

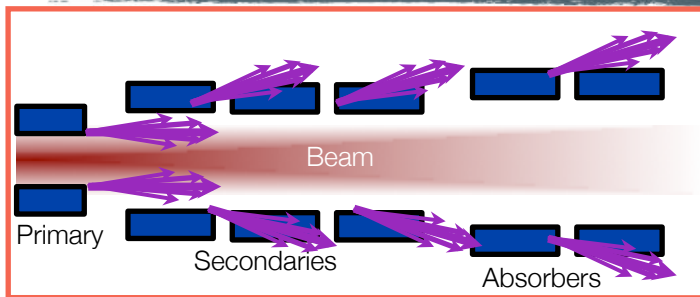


Le particelle sono intrappolate nel canale, quindi se imprimo una curvatura canale posso modificare la direzione delle particelle di un angolo $\theta_b = l/R$



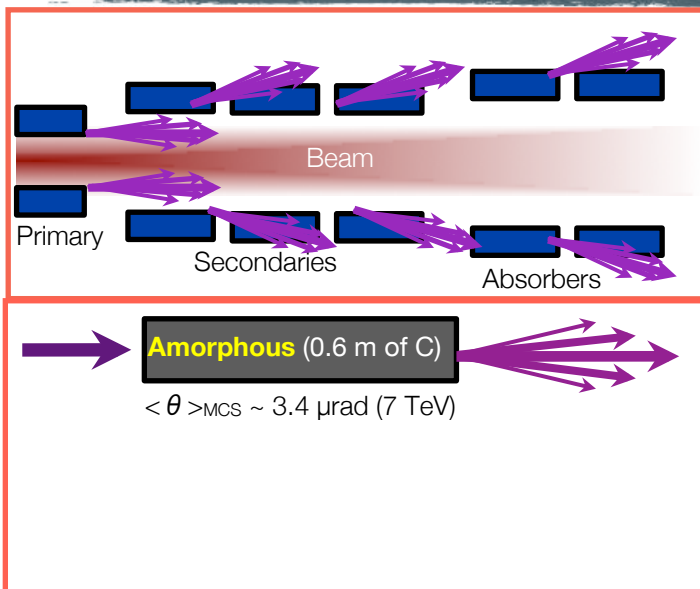
Un cristallo di **4 mm** può generare una deflessione di **50 μrad**
equivale ad una deflessione imposta da campo magnetico di **300 T**

Sistema di Collimazione



- **Pulizia dell'alone:** riduce il rischio di quench dei magneti
- **Concentrazione delle perdite/attivazioni** nelle aree controllate
Riduce il numero di aree attive lungo l'anello
- Ottimizzazione del **background** negli esperimenti
Minimizza il contributo dell'alone

Sistema di Collimazione

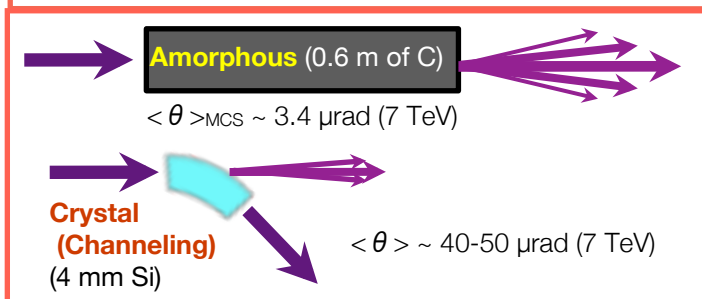
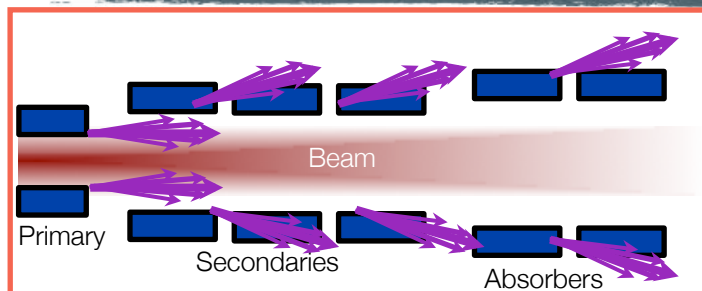


- **Pulizia dell'alone:** riduce il rischio di quench dei magneti
- **Concentrazione delle perdite/attivazioni** nelle aree controllate
Riduce il numero di aree attive lungo l'anello
- Ottimizzazione del **background** negli esperimenti
Minimizza il contributo dell'alone

Problemi

- Interazioni diffrattive
- Scattering anelastico

Sistema di Collimazione

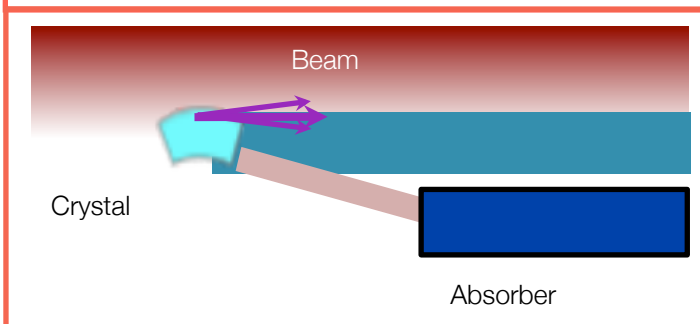
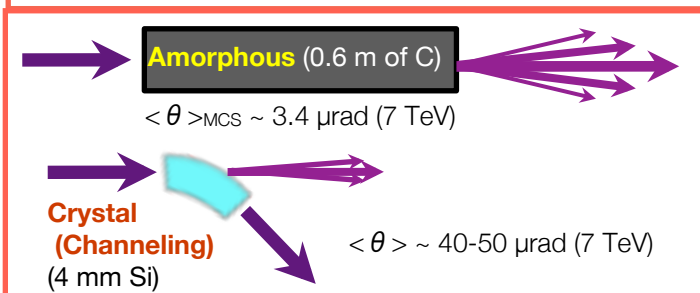
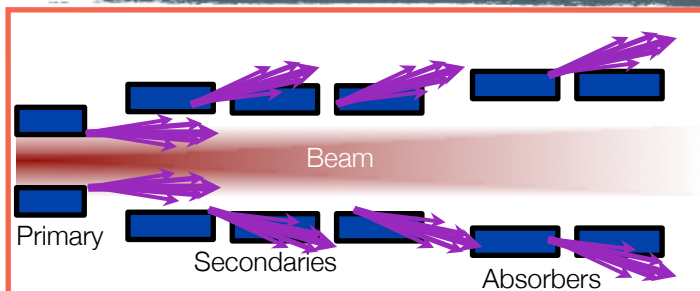


- **Pulizia dell'alone:** riduce il rischio di quench dei magneti
- **Concentrazione delle perdite/attivazioni** nelle aree controllate
Riduce il numero di aree attive lungo l'anello
- Ottimizzazione del **background** negli esperimenti
Minimizza il contributo dell'alone

Problemi

- Interazioni diffrattive
- Scattering anelastico

Sistema di Collimazione



- **Pulizia dell'alone:** riduce il rischio di quench dei magneti
- **Concentrazione delle perdite/attivazioni** nelle aree controllate
Riduce il numero di aree attive lungo l'anello
- Ottimizzazione del **background** negli esperimenti
Minimizza il contributo dell'alone

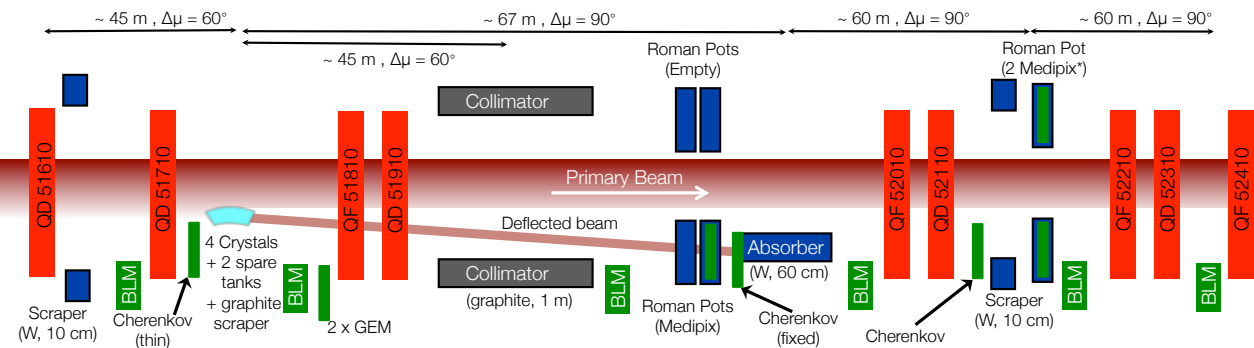
Problemi

- Interazioni diffrattive
- Scattering anelastico

Punti di forza della collimazione con cristalli ad LHC:

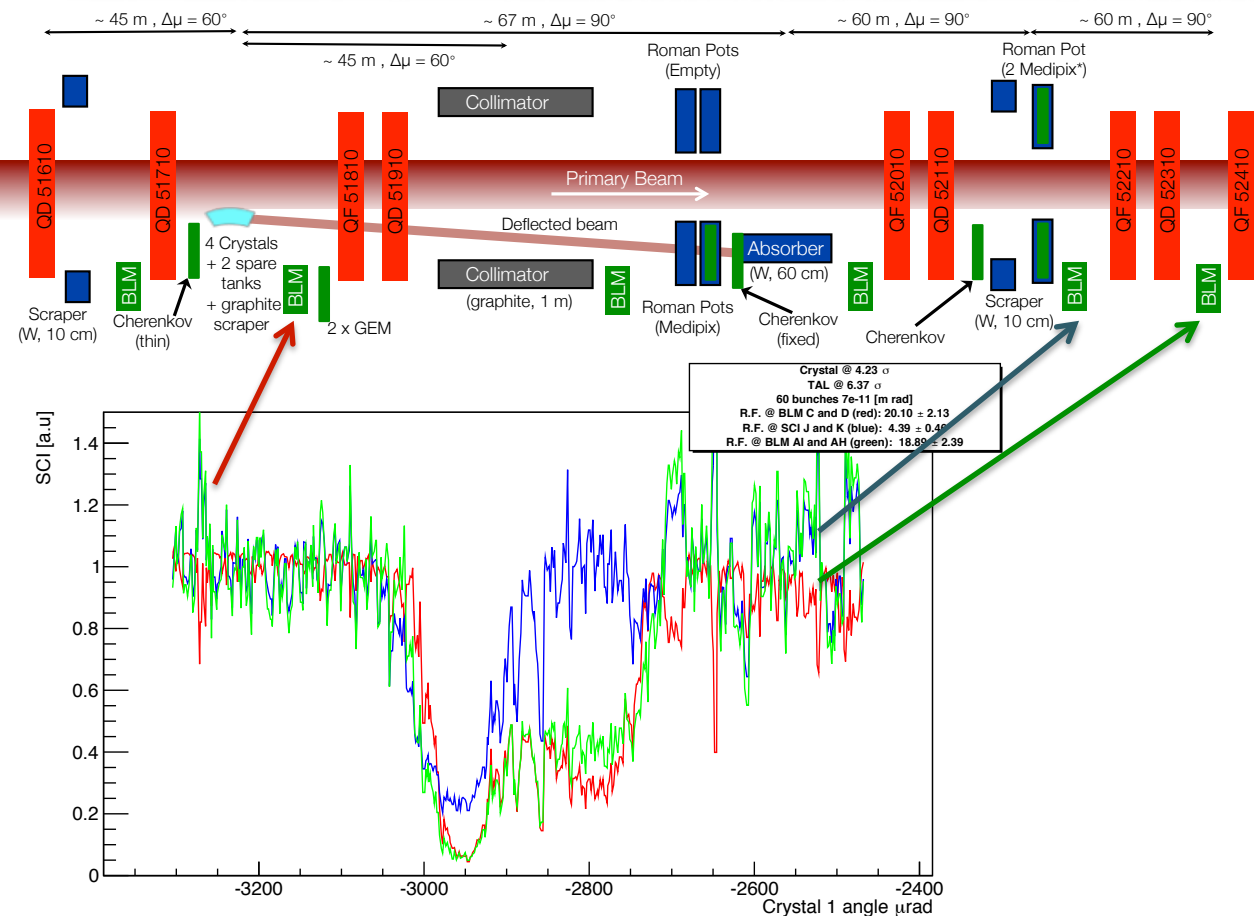
- Miglioramento della **pulizia di collimazione** ottenibile con meno collimatori;
- Riduzione delle perturbazioni elettromagnetiche sul fascio (**impedenza**);
- Significativo miglioramento della collimazione dei **fasci di ioni**.

Sistema di collimazione UA9 a SPS



Layout sperimentale della sezione LSS5 di SPS

Sistema di collimazione UA9 a SPS

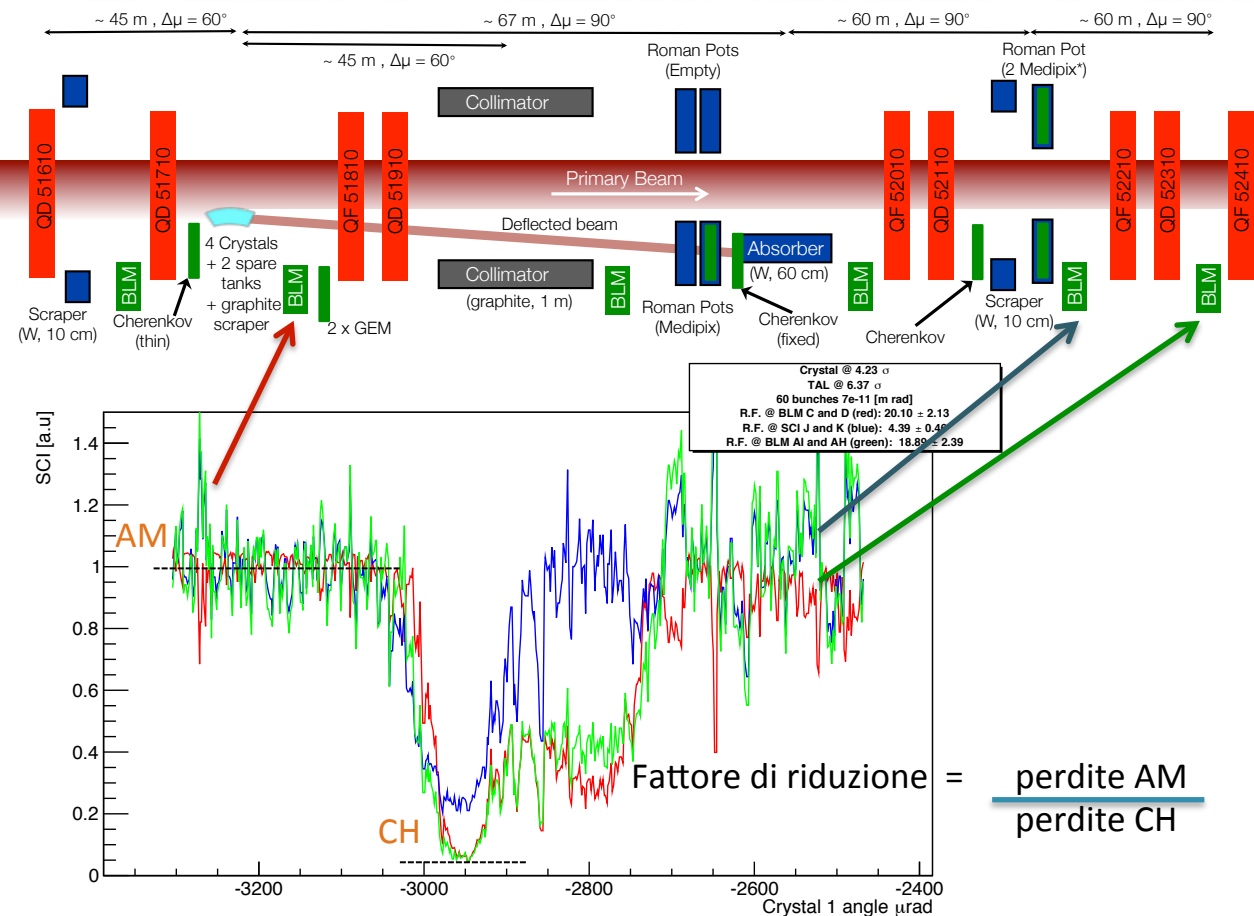


Layout sperimentale della sezione LSS5 di SPS

Il sistema è ben conosciuto e affidabile

- Velocemente riproducibile
- Chiare riduzioni di perdite in orientazione di channeling rispetto a quella amorfa

Sistema di collimazione UA9 a SPS

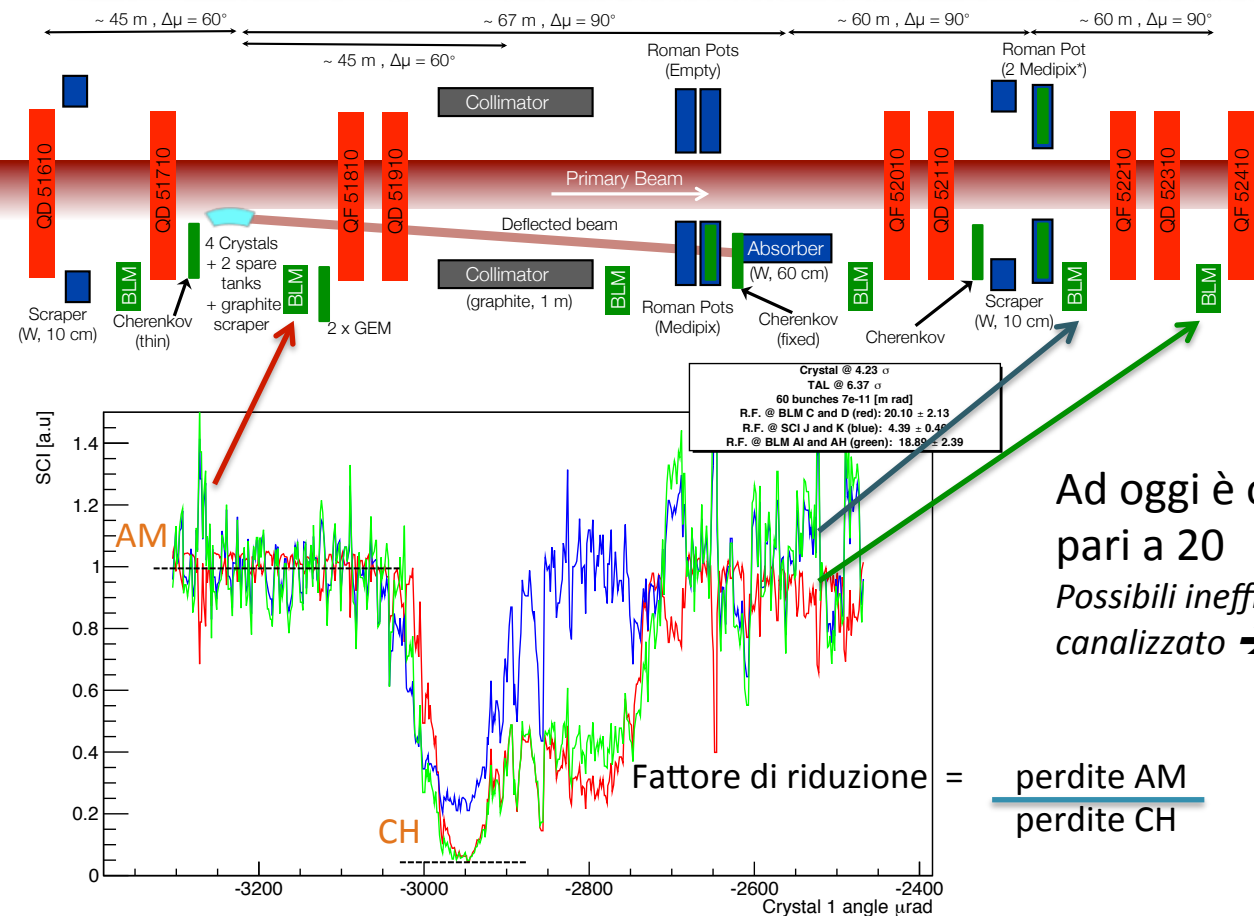


Layout sperimentale della sezione LSS5 di SPS

Il sistema è ben conosciuto e affidabile

- Velocemente riproducibile
- Chiare riduzioni di perdite in orientazione di channeling rispetto a quella amorfa

Sistema di collimazione UA9 a SPS



Layout sperimentale della sezione LSS5 di SPS

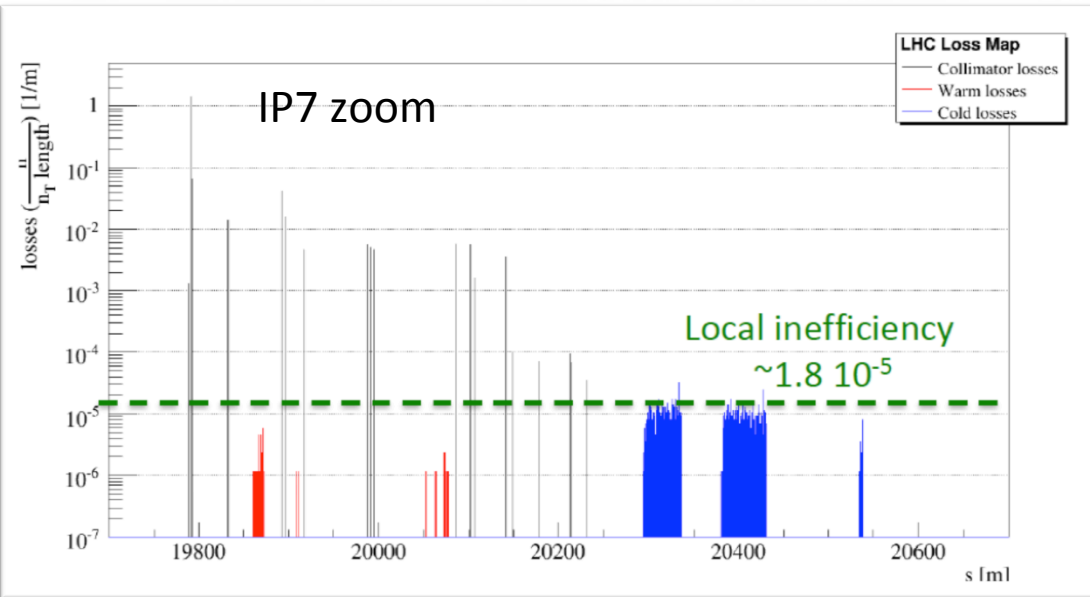
Il sistema è ben conosciuto e affidabile

- Velocemente riproducibile
- Chiare riduzioni di perdite in orientazione di channeling rispetto a quella amorfa

Ad oggi è osservato un fattore di riduzione pari a 20

Possibili inefficienze di assorbimento del fascio canalizzato → nuovi studi

Previsioni su LHC



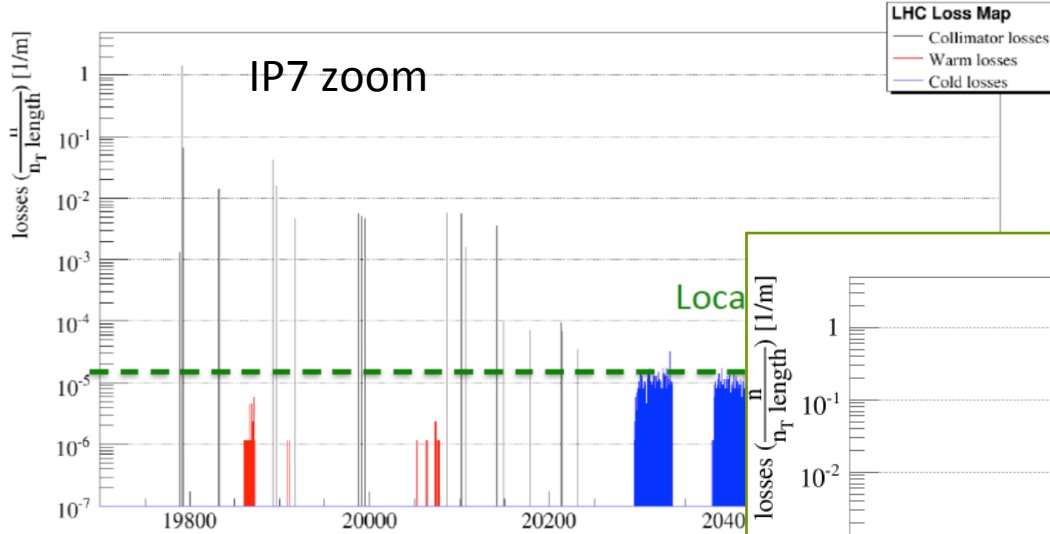
Pulizia di Collimazione :

perdite al primo magnete freddo
perdite al collimatore primario

SixTrack simulations – thanks to Daniele Mirarchi

Previsioni su LHC

IP7 zoom

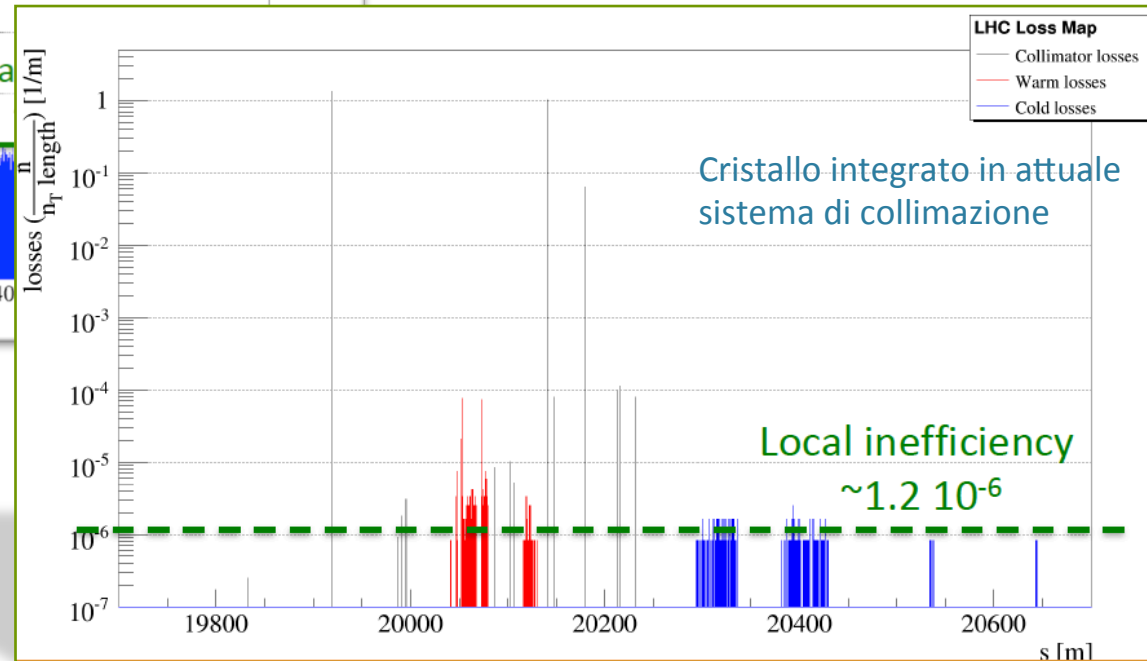


Pulizia di Collimazione :

perdite al primo magnete freddo
perdite al collimatore primario

Cristallo integrato in attuale sistema di collimazione

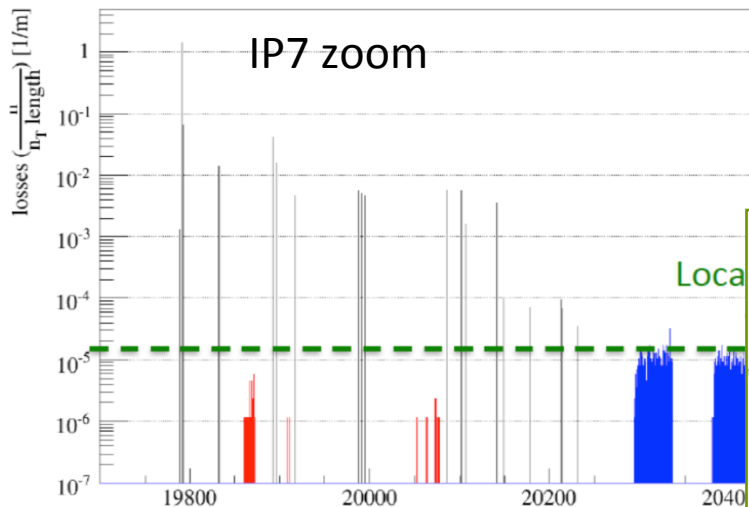
Local inefficiency
 $\sim 1.2 \cdot 10^{-6}$



SixTrack simulations – thanks to Daniele Mirarchi

Previsioni su LHC

IP7 zoom

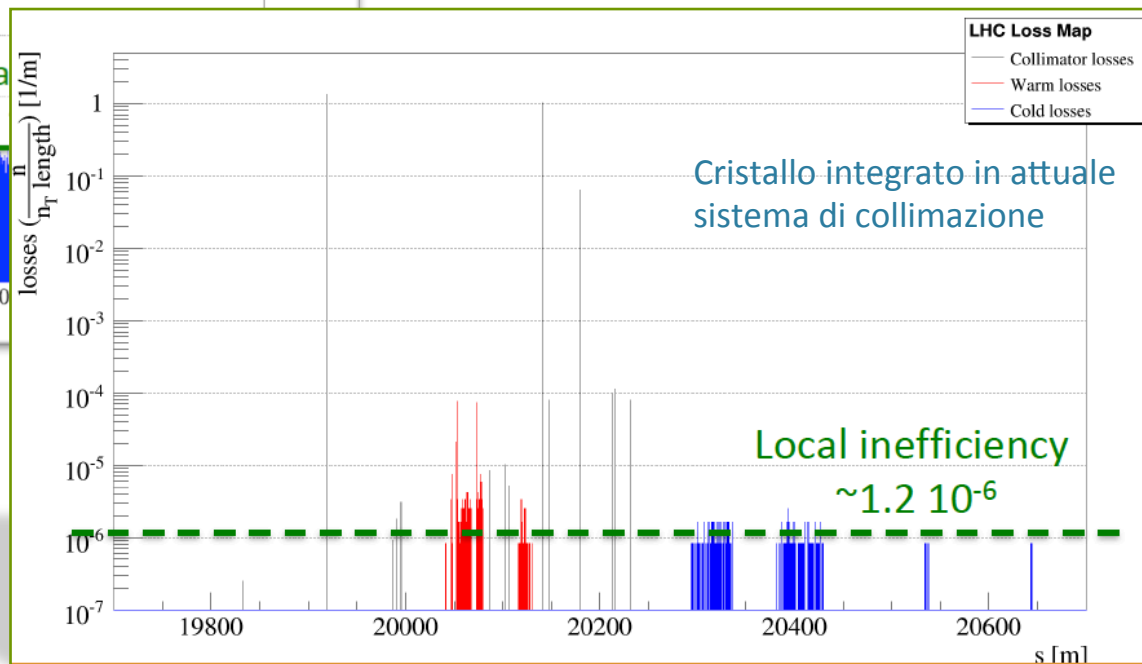


Pulizia di Collimazione :

perdite al primo magnete freddo
perdite al collimatore primario

2 cristalli installati in LHC
Primi test già quest anno

Simulazione SixTrack – grazie a Daniele Mirarchi



Nuove applicazioni del channeling

CRYSBEAM



UA9-SE

Nuove applicazioni del channeling

CRYSBEAM



Progetto ERC :

- Nuovo design dei cristalli (estrazione a 7 TeV)
- Sviluppo di nuovi rivelatori Cherenkov (monitoraggio)
- Calorimetro assorbitore (cascate adroniche)

UA9-SE

Nuove applicazioni del channeling

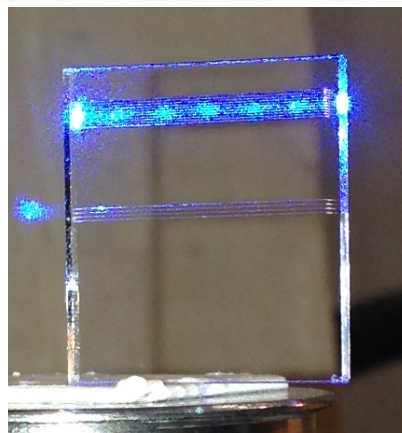
CRYSBEAM



Progetto ERC :

- Nuovo design dei cristalli (estrazione a 7 TeV)
- Sviluppo di nuovi rivelatori Cherenkov (monitoraggio)
- Calorimetro assorbitore (cascate adroniche)

UA9-SE



Test alla BTF di Frascati da lunedì

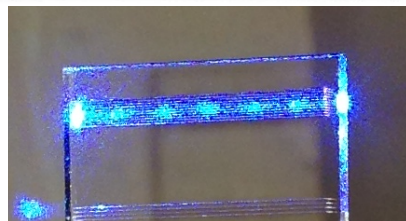
Nuove applicazioni del channeling

CRYSBEAM

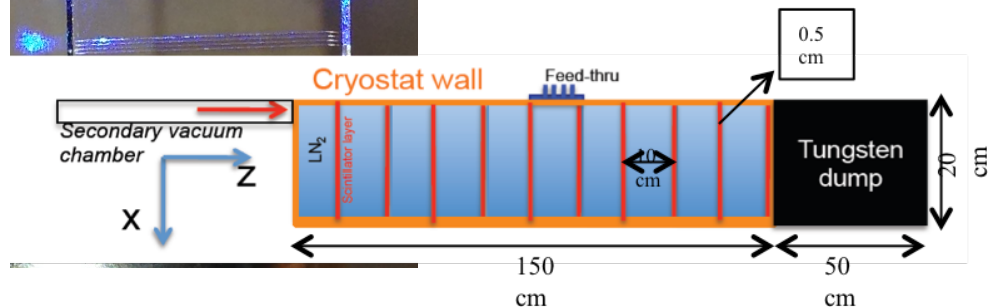


Progetto ERC :

- Nuovo design dei cristalli (estrazione a 7 TeV)
- Sviluppo di nuovi rivelatori Cherenkov (monitoraggio)
- Calorimetro assorbitore (cascate adroniche)



UA9-SE



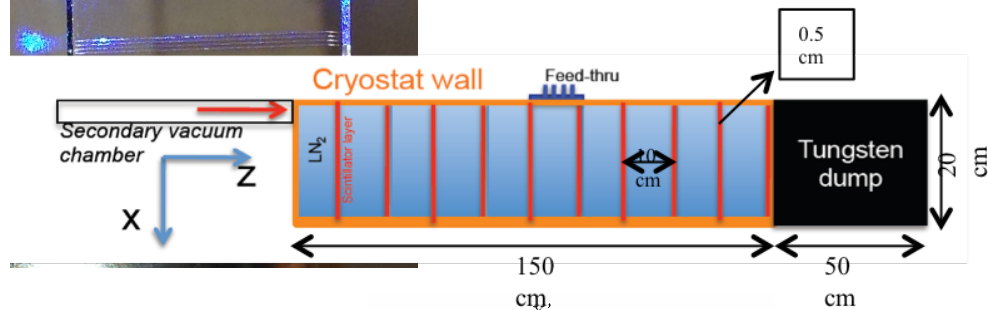
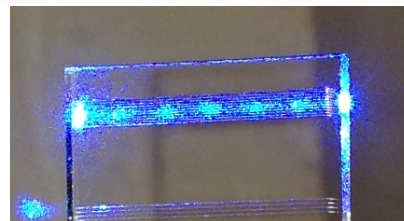
Nuove applicazioni del channeling

CRYSBREAM



Progetto ERC :

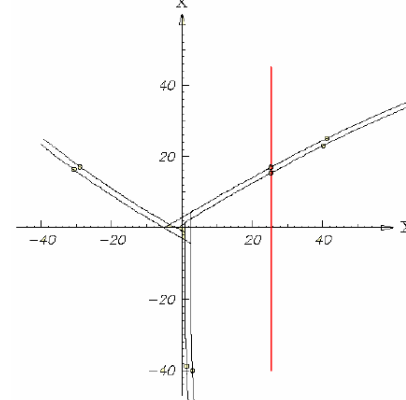
- Nuovo design dei cristalli (estrazione a 7 TeV)
- Sviluppo di nuovi rivelatori Cherenkov (monitoraggio)
- Calorimetro assorbitore (cascate adroniche)



UA9-SE

L'obiettivo è capire se si possa integrare un cristallo piegato per l'estrazione del fascio di SPS.

Un team di studio è stato creato al CERN insieme al gruppo dell'estrazione



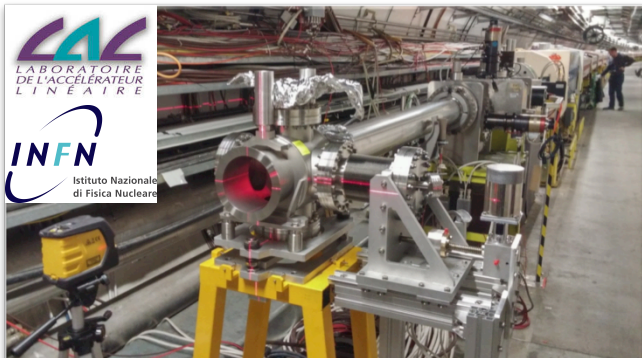
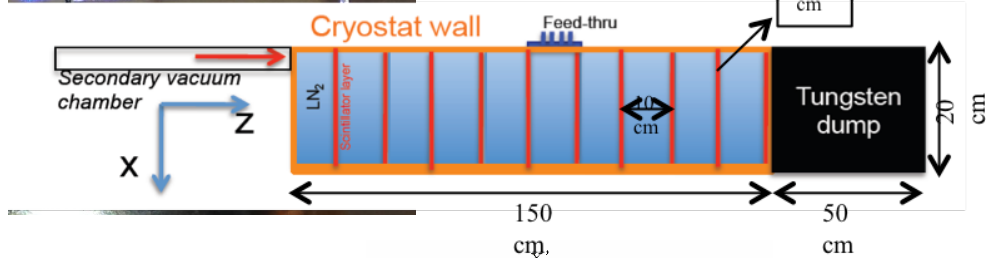
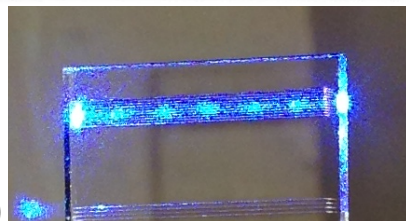
Nuove applicazioni del channeling

CRYSBEAM



Progetto ERC :

- Nuovo design dei cristalli (estrazione a 7 TeV)
- Sviluppo di nuovi rivelatori Cherenkov (monitoraggio)
- Calorimetro assorbitore (cascate adroniche)



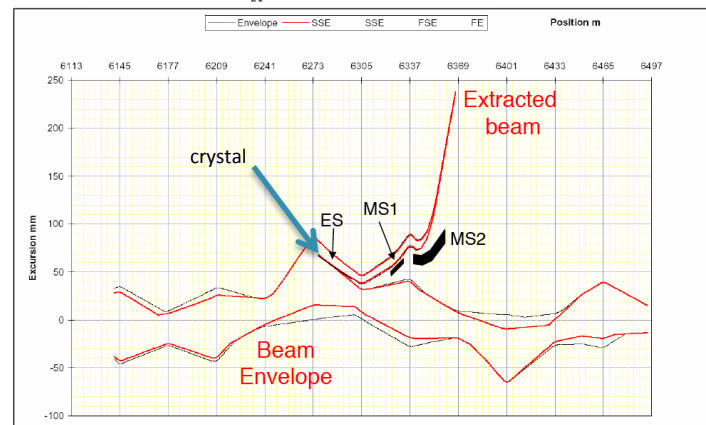
Integrazione del rivelatore CpFM per misure di modulazione di flusso

UA9-SE

L'obiettivo è capire se si possa integrare un cristallo piegato per l'estrazione del fascio di SPS.

Un team di studio è stato creato al CERN insieme al gruppo dell'estrazione

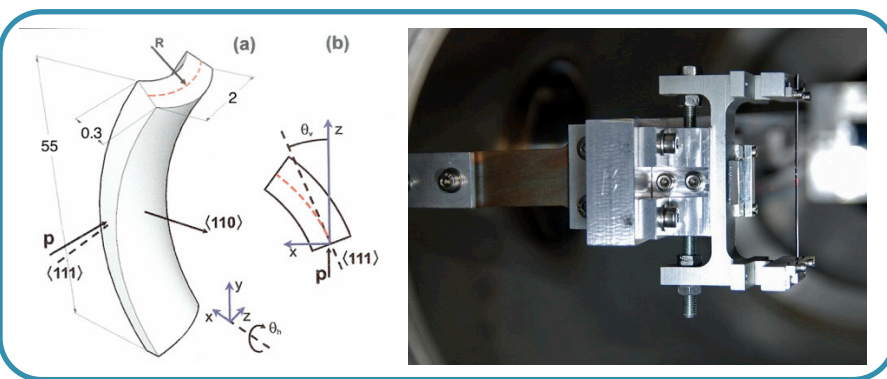
Applicazione per SHiP



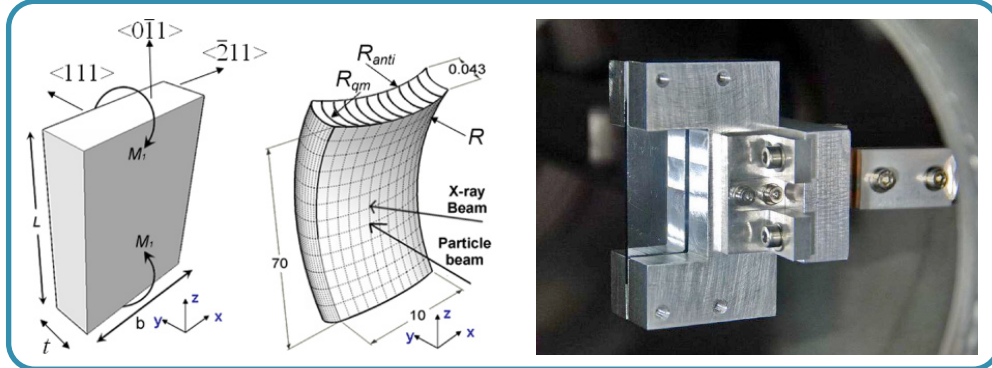
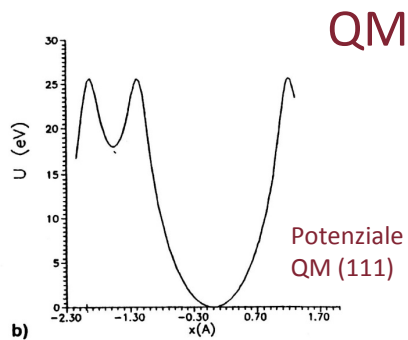
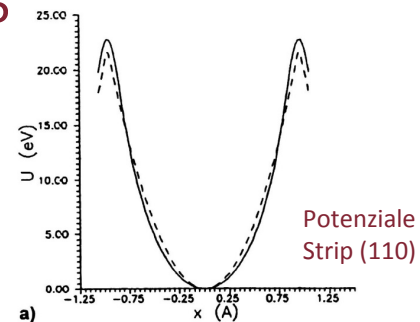
- ✓ Il channeling è oggi un fenomeno compreso e applicabile in materia di fisica degli acceleratori
- ✓ I risultati ottenuti nel corso degli anni consentiranno ad UA9 di testare la funzionalità della collimazione con cristalli su LHC quest'anno
in collaborazione col Team di Collimazione
- ✓ La possibilità di applicare il channeling per l'estrazione di fasci si fa sempre più realistica
applicabile sia ad SPS che ad LHC
- ✓ L'esperienza acquisita nello studio dei fasci manipolati dai cristalli consente il continuo sviluppo di detector specifici
nuovi upgrade del CpFM e nuove tipologie di Cherenkov detector sono in fase di sviluppo

BACKUP

Cristalli UA9



STRIP



La curvatura viene impartita attraverso le **forze anticlastiche**, generate dalla curvatura primaria che viene impartita meccanicamente.

Collimazione dei fasci adronici

Idealmente, note le equazioni che descrivono il moto delle particelle all'interno degli acceleratori, le particelle rimangono imperturbate sulla stessa orbita.

Le particelle **non** restano all'infinito sull'orbita di riferimento a causa di diversi effetti :

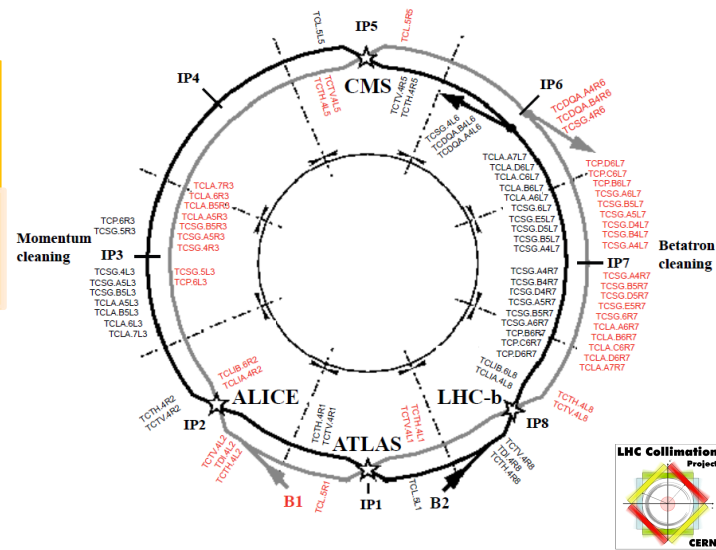
Interbeam Scattering	Scattering con molecole di gas residue	Effetti beam-beam	Perdite per errori di iniezione	Perdite per non sincronismo del dump	Errori occasionali e non prevedibili
----------------------	--	-------------------	---------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------



Tali processi incrementano la popolazione dell'**alone** che provoca diversi problemi :

Effetti non lineari dei magneti, lontano dal centro	Interazione con restrizioni geometriche	Fondo per gli esperimenti a grande parametro d'impatto	Riduzione vita media apparati investiti	Perdite su magneti superconduttori con possibile quench
---	---	--	---	---

La **collimazione** serve a ridurre le perdite incontrollate delle particelle dell'alone nella macchina.



UA9 Experiment

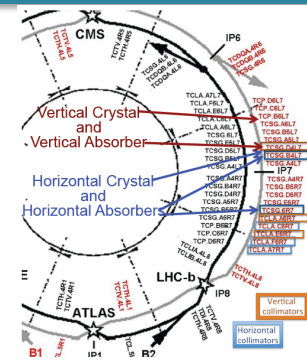
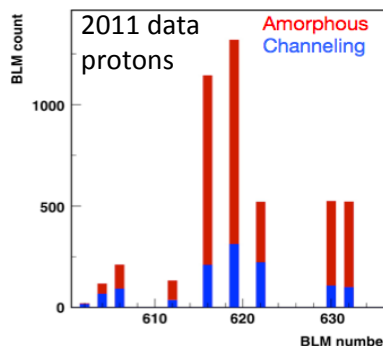
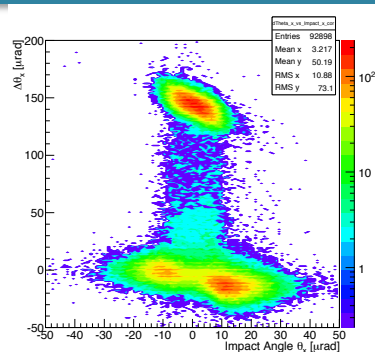
La collaborazione UA9 sta studiando come piccoli cristalli piegati possano implementare e migliorare il processo di collimazione di LHC, in vista di futuri esperimenti ad altissima luminosità.

Misure sperimentali diverse

La caratterizzazione delle interazioni di particelle con i cristalli piegati viene eseguita nella linea di estrazione di SPS, H8.

Il sistema di collimazione con Cristalli viene testato in SPS con un fascio stabile di protoni (e ioni piombo) a 120 o 270 GeV.

Due cristalli sono stati installati coi loro rispettivi goniometri in LHC. Sono stati richiesti dei test già a partire da quest'anno.



Sistema di collimazione

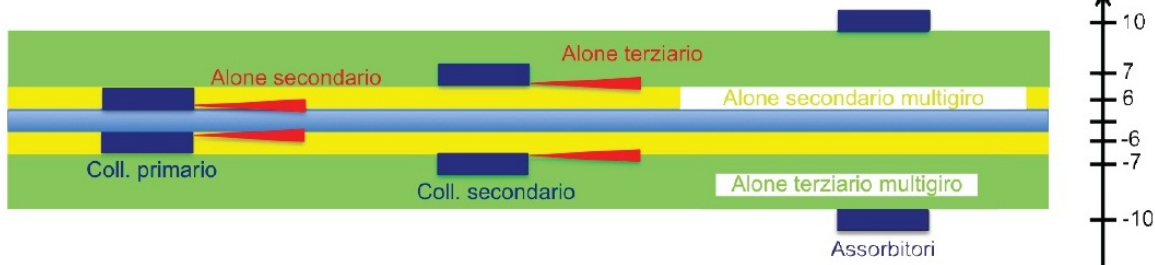
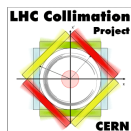
Il sistema di collimazione attuale si basa sul multiplo scattering delle particelle dell'alone con i collimatori.

Le inefficienze di tale sistema

sono dovute a

Effetti Diffrattivi

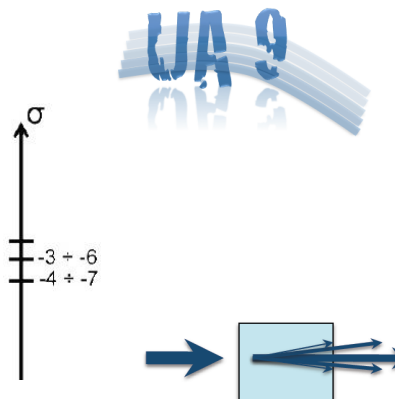
Interazioni Anelastiche



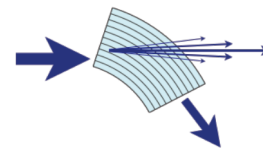
Questi effetti limitano la macchina in **Corrente Totale Circolante** e quindi la **Luminosità**.

Sfruttando il channeling dei cristalli il layout si riduce a due stadi. I vantaggi sono :

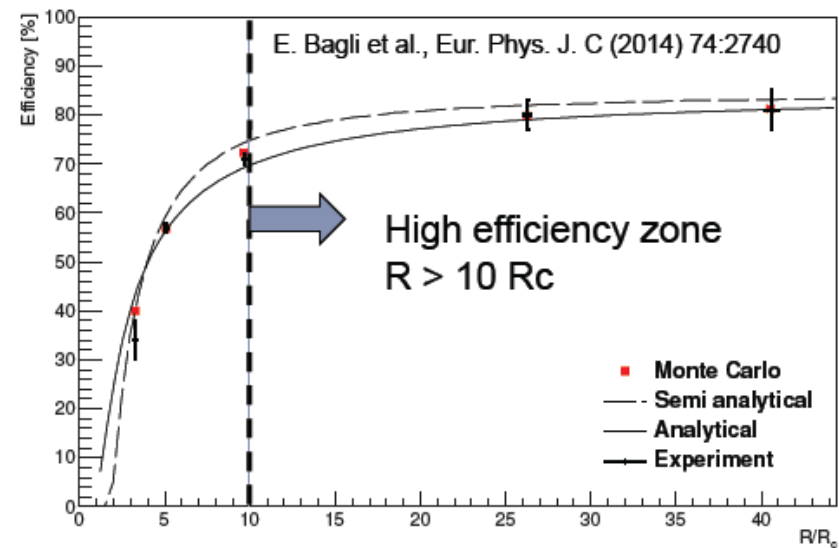
- Grande Angolo di Deflessione
- Riduzione Impedenza Complessiva
- **Riduzione Interazioni Anelastiche al primo stadio**



Consente di concentrare le perdite in un piccolo punto della macchina, dove si inserisce l'assorbitore



Estrazione 7 TeV



Si (110):

$R_c = 12 \text{ m} @ p\beta = 7 \text{ TeV}$

Ge (110):

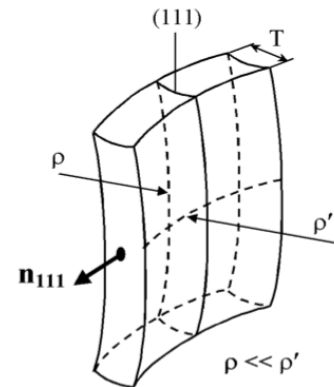
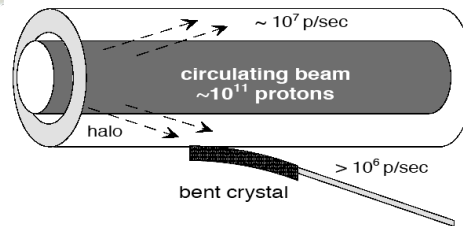
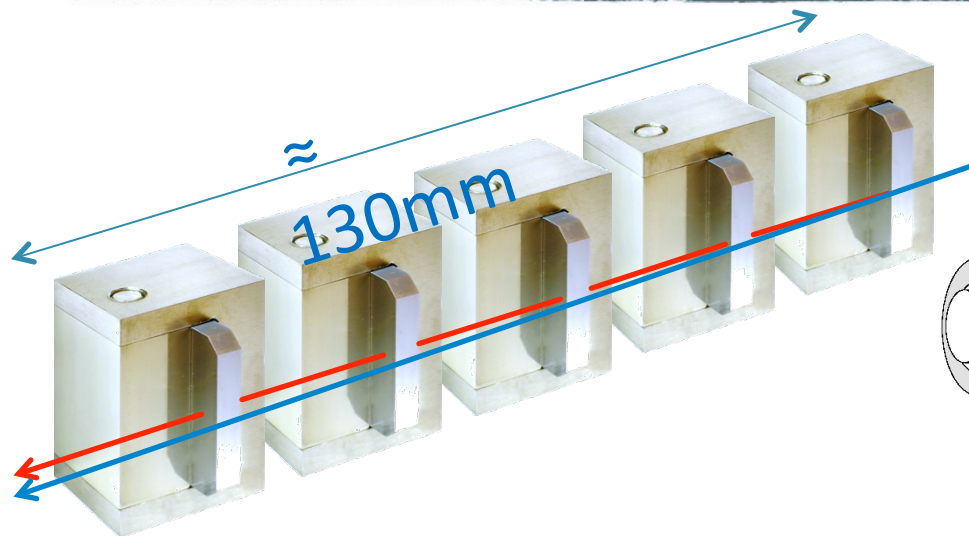
$R_c = 7 \text{ m} @ p\beta = 7 \text{ TeV}$

Serve una deflessione di circa 1 mrad

- Si $\rightarrow 12 \text{ cm (z)}$
- Ge $\rightarrow 7 \text{ cm (z)}$

Inoltre un nuovo tipo di holder deve essere disegnato

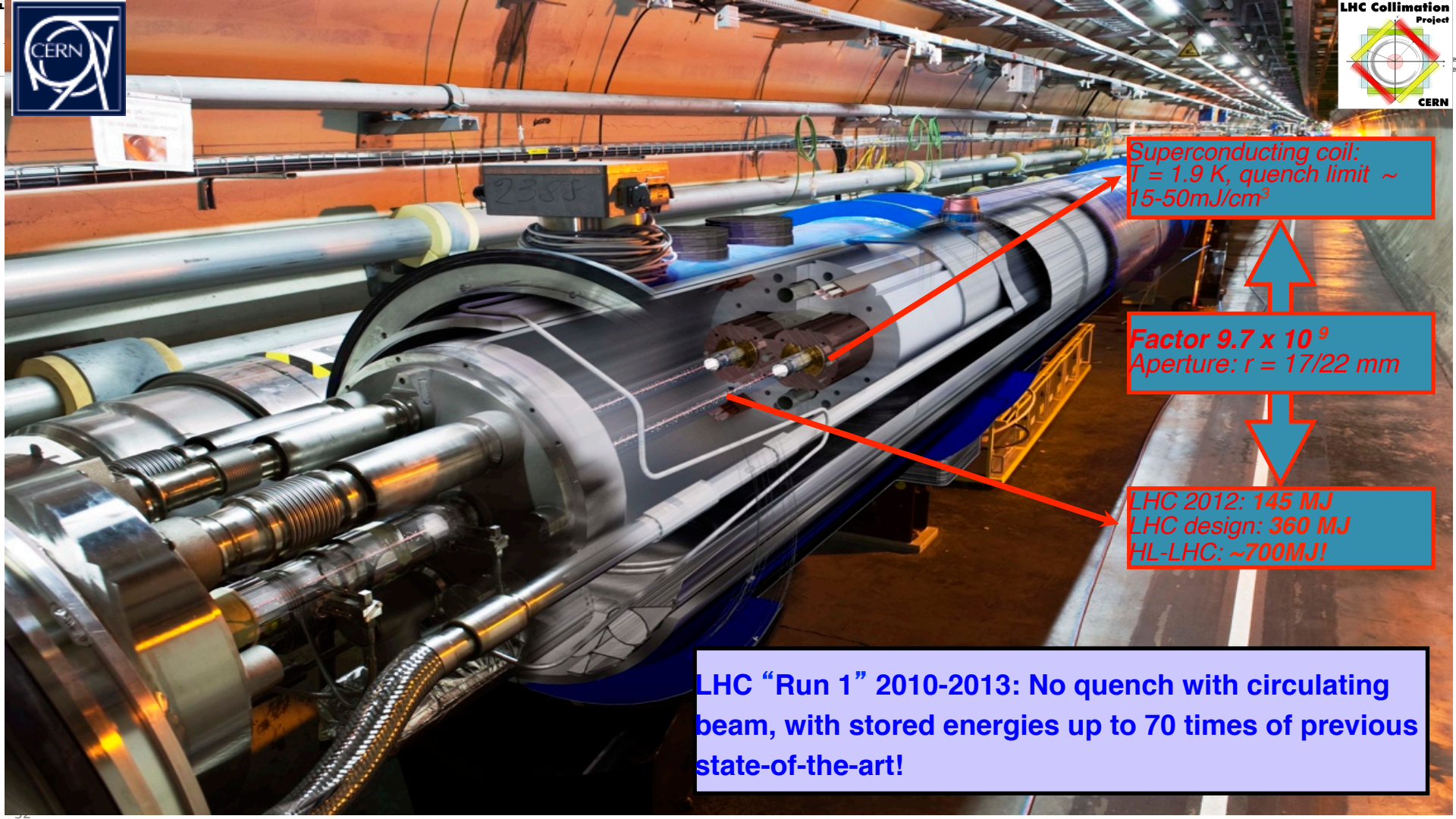
Estrezione lenta ad SPS



Curvatura Quasi Mosaica

Crystal parameters:

- spessore 1-4 mm
- deflessione CH 60-150 μrad
- deflessione MVR $\approx 60 \mu\text{rad}$



Superconducting coil:
 $T = 1.9 \text{ K}$, quench limit $\sim 15\text{-}50 \text{ mJ/cm}^3$

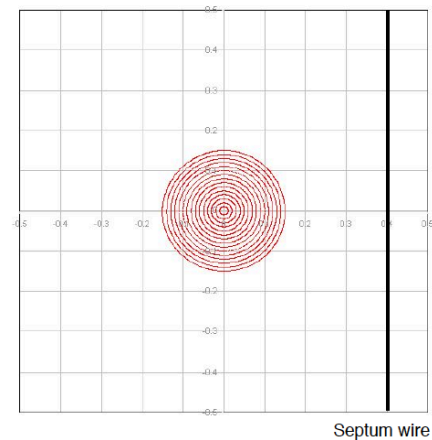
Factor 9.7×10^9
Aperture: $r = 17/22 \text{ mm}$

LHC 2012: 145 MJ
LHC design: 360 MJ
HL-LHC: $\sim 700 \text{ MJ}$!

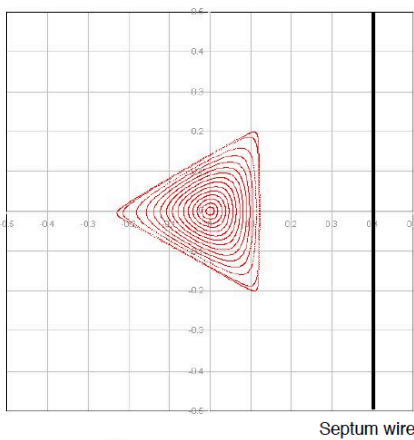
LHC “Run 1” 2010-2013: No quench with circulating beam, with stored energies up to 70 times of previous state-of-the-art!

Estrazione risonante

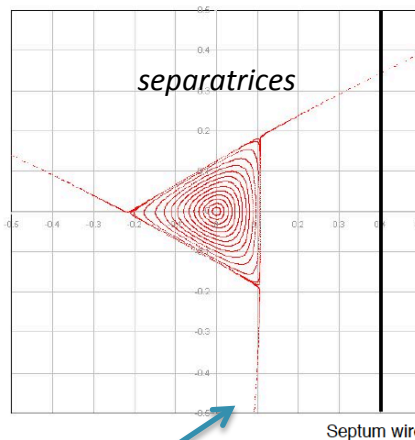
Evoluzione dello spazio delle fasi normalizzato al punto di estrazione (100k giri)



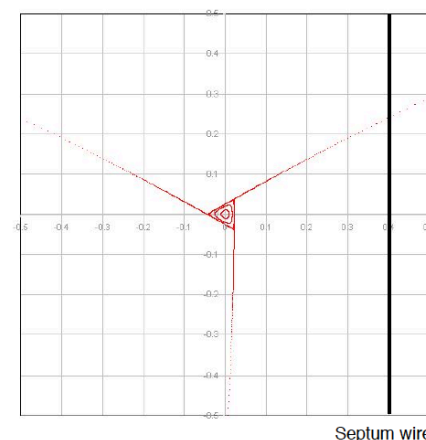
Deformazione dello spazio delle fasi da sestupoli



Variazione del tune (vicino ad una risonanza di 3° ordine)



Traiettorie instabili



Estrazione al setto