

# Decadimenti semileptonici charmless di adroni con beauty ad LHCb

Anna Lupato

on behalf of LHCb Collaboration

101° Congresso nazionale SIF  
Roma, 21-25 Settembre 2015



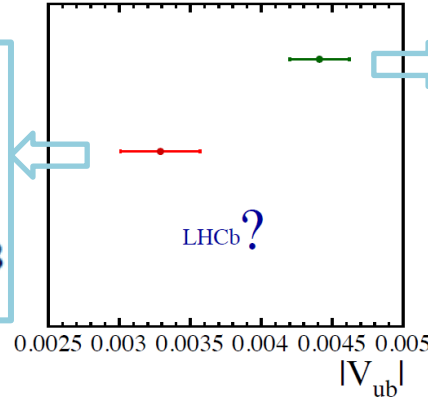
# Misura di $|V_{ub}|$

La matrice CKM descrive l'intensità di accoppiamento tra i quark nelle interazioni di corrente carica debole

→  $|V_{ub}|$  è uno dei parametri determinati con maggior incertezza

$|V_{ub}|$  da misure esclusive (B-factories):

- $B \rightarrow \pi l \nu$
- $|V_{ub}| = (3.28 \pm 0.29) \times 10^{-3}$



$|V_{ub}|$  da misure inclusive (B-factories):

- $b \rightarrow u l \nu$
- $|V_{ub}| = (4.41 \pm 0.15 \pm_{0.17}^{0.15}) \times 10^{-3}$

Discrepanza di  $3\sigma$  tra le misure inclusive ed esclusive

...e ad LHCb?

- enorme produzione di adroni con beauty ☺
- 20 % dei quali sono  $\Lambda_b$  ☺
- ricostruzione tracce ed ID protoni e muone eccellenti ☺
- la presenza del neutrino non permette di ricostruire il momento della particella che decade ☹



...  $\Lambda_b \rightarrow p \mu \nu$

# Strategia di analisi

- **Canale di decadimento:**  $\Lambda_b \rightarrow p \mu \nu$
- **Canale di normalizzazione:**  $\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c (\rightarrow p K \pi) \mu \nu$

**Dataset:** 2 fb<sup>-1</sup>

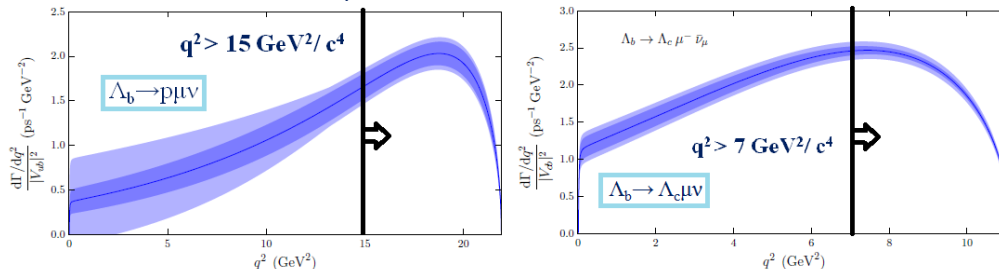
- **Osservabile:** branching ratio di  $\Lambda_b \rightarrow p \mu \nu$  normalizzato rispetto a  $\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c \mu \nu$   
→ cancellazione di molte incertezze sistematiche (rate di produzione di  $\Lambda_b$ )

$$R_{sperimentale} = \frac{\mathcal{B}(\Lambda_b \rightarrow p \mu^- \bar{\nu}_\mu)_{q^2 > 15 \text{ GeV}^2/c^4}}{\mathcal{B}(\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c \mu^- \bar{\nu}_\mu)_{q^2 > 7 \text{ GeV}^2/c^4}} =$$

$$= \frac{N(\Lambda_b \rightarrow p \mu^- \bar{\nu}_\mu)}{N(\Lambda_b \rightarrow (\Lambda_c \rightarrow p K \pi) \mu^- \bar{\nu}_\mu)} \times \frac{\epsilon(\Lambda_b \rightarrow (\Lambda_c p K \pi) \mu^- \bar{\nu}_\mu)}{\epsilon(\Lambda_b \rightarrow p \mu^- \bar{\nu}_\mu)} \times \mathcal{B}(\Lambda_c \rightarrow p K \pi)$$

con  $\mathcal{B}(\Lambda_c \rightarrow p K \pi) = 6.84 \pm 0.24 \text{ (stat)}_{-0.27}^{+0.21} \text{ (sist)}$  Belle Collaboration [arXiv:1312.7826]

- **Cinematica:** alto  $q^2 = m_{\mu \nu}^2 \rightarrow$  riduzione incertezze teoriche (fattori di forma)



[arXiv: 1503.01421]

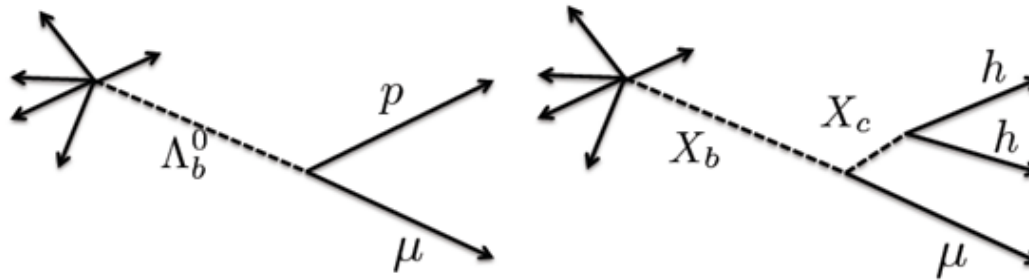
- **Misura:**  $|V_{ub}|^2 = |V_{cb}|^2 \frac{R_{sperimentale}}{R_{teorico}}$

con  $R_{teorico} = 1.471 \pm 0.095 \text{ (stat)} \pm 0.109 \text{ (sist)}$  [arXiv: 1503.01421]

# Selezione degli eventi

- *Qualità dei vertici:*

- selezione  $\mu$  che formano un vertice con un'altra traccia dell'evento
- fondo dominante: decadimenti di  $b \rightarrow c$



→ adroni charmati hanno  $\tau \neq 0$  → richieste sulla qualità dei vertici secondari

- *Tagli di PID applicati al protone*

- $\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c (\rightarrow p K \pi) \mu \nu$ :

- 2 tracce aggiuntive identificate come K e  $\pi$  sono combinate con un protone



# Selezione degli eventi

- **Selezione per alti  $q^2$ :**

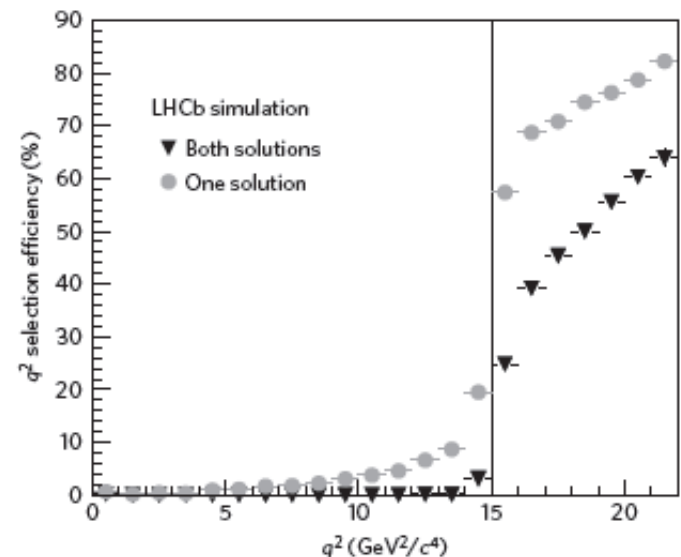
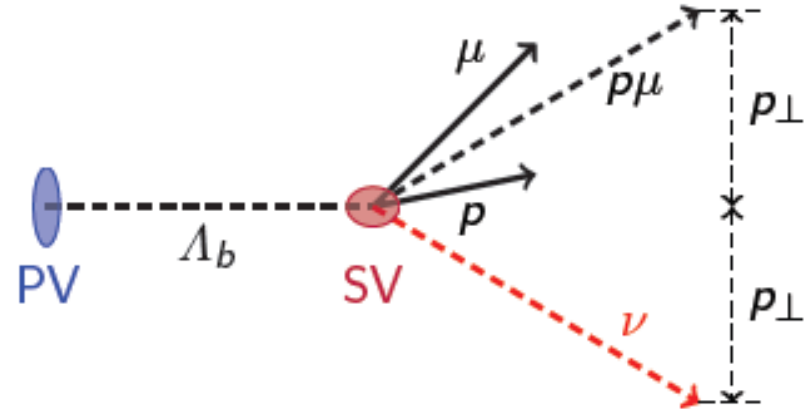
- canali semileptonici  $\rightarrow$  neutrino non ricostruibile

- utilizzando la direzione di volo della  $\Lambda_b$   
+ constraint di massa

- $\rightarrow q^2$  ricostruibile con doppia ambiguità  
e differente risoluzione:

- soluzione corretta:  $1 \text{ GeV}^2/c^4$
- soluzione errata:  $4 \text{ GeV}^2/c^4$

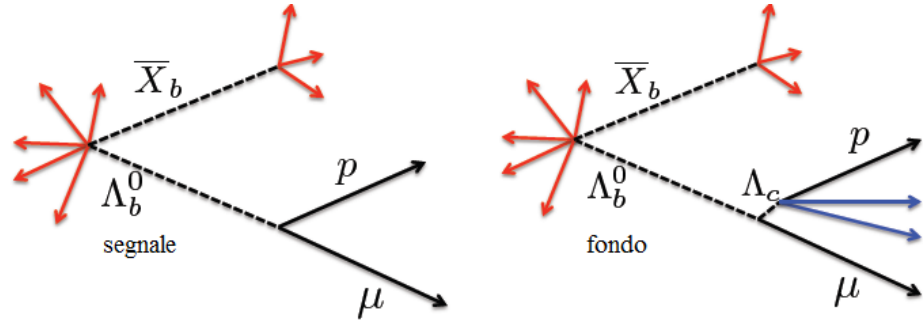
- **$q^2 > 15 \text{ GeV}^2/c^4$  per entrambe le soluzioni  
per minimizzare la migrazione da bassi  $q^2$ ,**  
regione in cui i fattori di forma hanno grosse  
incertezze



# Selezione degli eventi

## • Analisi multivariata mirata all'isolamento delle tracce:

- **Boosted Decision Tree** per rimuovere i decadimenti formati da tracce cariche associate al vertice  $p\mu$
- reiezione fondo:  $\sim 90 \%$
- efficienza segnale:  $\sim 80 \%$



## • Massa corretta:

$$M_{corr} = \sqrt{p_{\perp}^2 + M_{p\mu}^2 + p_{\perp}}$$

dove  $M_{p\mu}$  è la massa visibile e  $p_{\perp}$  il impulso trasverso alla direzione di volo

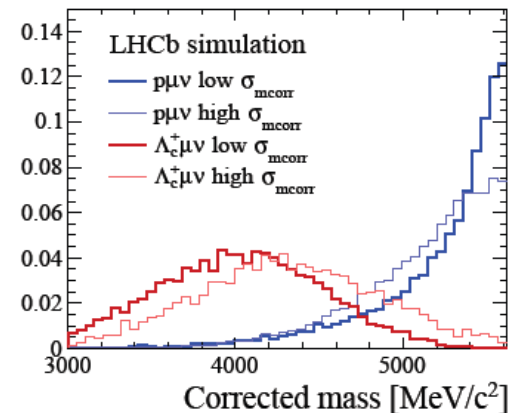
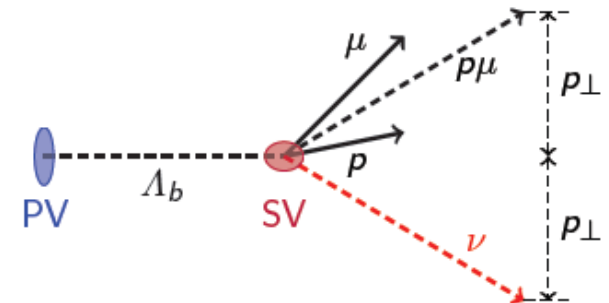
- incertezza sulla massa dominata dalla risoluzione sulla ricostruzione dei vertici

- candidati rigettati se  $\sigma_{M_{corr}} > 100 \text{ MeV}/c^2$

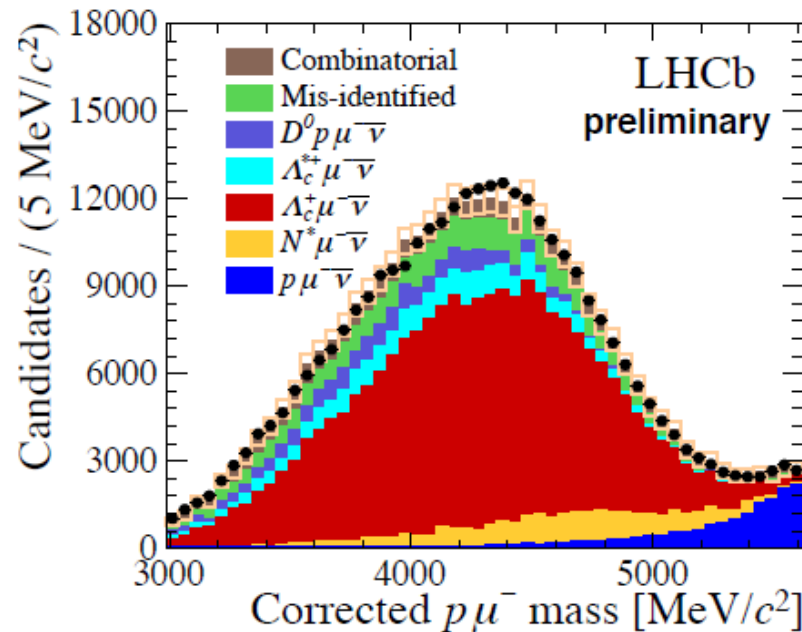
→ efficienza:  $\sim 23 \%$

(taglio applicato soltanto a  $\Lambda_b \rightarrow p\mu\nu$ )

- Si individua il picco alla massa della  $\Lambda_b$  anche se manca un neutrino!



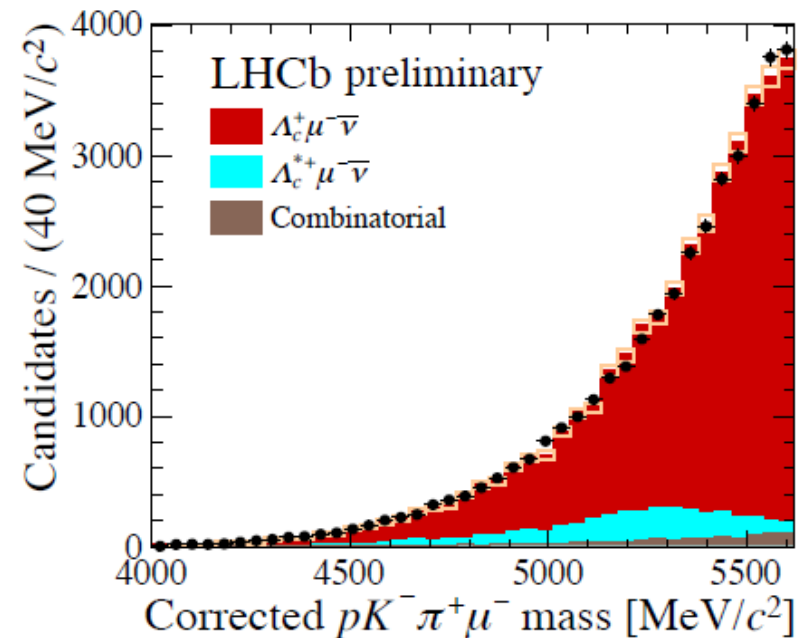
# Fit alle distribuzioni di massa corretta $M_{p\mu}$



- $N(\Lambda_b \rightarrow p \mu \nu) = 17687 \pm 733$
- Prima osservazione del decadimento  $\Lambda_b \rightarrow p \mu \nu$

$$N(\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c \mu \nu) = 34255 \pm 571$$

[\*Nature Phys.\* 11 \(2015\) 743-747](#)



# Efficienze relative ed errori sistematici

- **Efficienze relative:**

- Determinate utilizzando campioni simulati, con correzioni dai dati

$$\frac{\epsilon(\Lambda_b \rightarrow p\mu^- \bar{\nu}_\mu)}{\epsilon(\Lambda_b \rightarrow (\Lambda_c \rightarrow pK\pi)\mu^- \bar{\nu}_\mu)} = 3.52 \pm 0.20$$

- Le maggiori differenze in efficienza sono dovute a:

- \* le due tracce aggiuntive presenti nel canale di normalizzazione
- \* l'efficienza di ricostruzione del vertice della  $\Lambda_c$
- \* il taglio sulla  $\sigma_{\text{Mcorr}}$  applicato soltanto a  $\Lambda_b \rightarrow p\mu\nu$

- **Errori sistematici:**

Source	Relative uncertainty (%)
$\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow pK^+\pi^-)$	+4.7 -5.3
Trigger	3.2
Tracking	3.0
$\Lambda_c^+$ selection efficiency	3.0
$N^*$ shapes	2.3
$\Lambda_b^0$ lifetime	1.5
Isolation	1.4
Form factor	1.0
$\Lambda_b^0$ kinematics	0.5
$q^2$ migration	0.4
PID	0.2
Total	+7.8 -8.2



# Risultati

- Rapporto dei branching ratios:

$$\frac{B(\Lambda_b \rightarrow p\mu\nu)_{q^2 > 15 \text{ GeV}^2/c^4}}{B(\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c\mu\nu)_{q^2 > 7 \text{ GeV}^2/c^4}} = (1.00 \pm 0.04(\text{stat}) \pm 0.08(\text{sist})) \times 10^{-2}$$

- Estrapolazione a tutto l'intervallo in  $q^2$ :

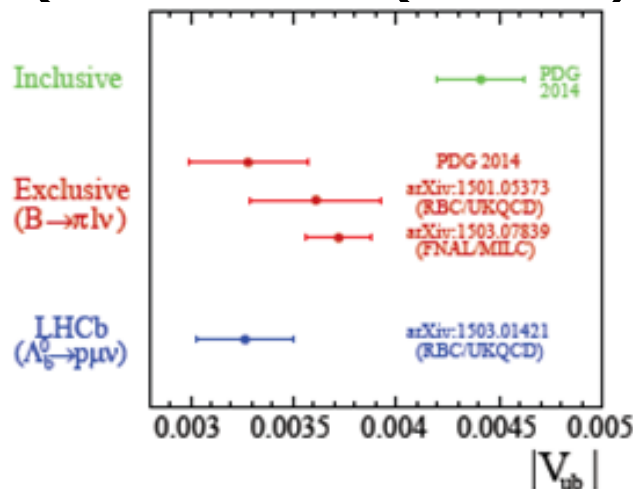
$$B(\Lambda_b \rightarrow p\mu\nu) = (4.1 \pm 1.0) \times 10^{-4}$$

(dominato dalle incertezze sui fattori di forma)

- $|V_{ub}|$

– utilizzando la media mondiale di  $|V_{cb}| = (39.5 \pm 0.8) \times 10^{-3}$ , [Chin. Phys. C, **38**, 090001 (2014)] misurato utilizzando i decadimenti esclusivi si ottiene:

$$|V_{ub}| = (3.27 \pm 0.15(\text{misura}) \pm 0.16(\text{teoria}) \pm 0.06(|V_{cb}|)) \times 10^{-3}$$



Discrepanza tra le misure inclusive ed esclusive di  $|V_{ub}|$ :

- $3.5\sigma$ : LHCb
- $3.9\sigma$ : LHCb +  $B \rightarrow \pi l \nu$

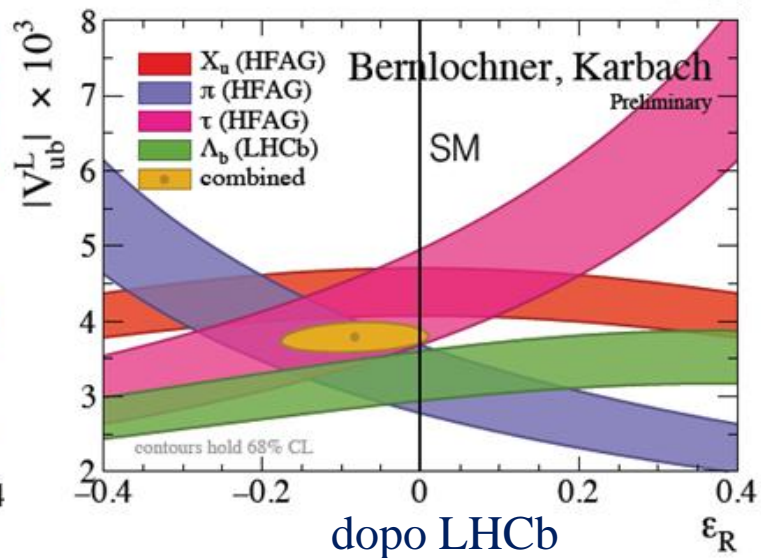
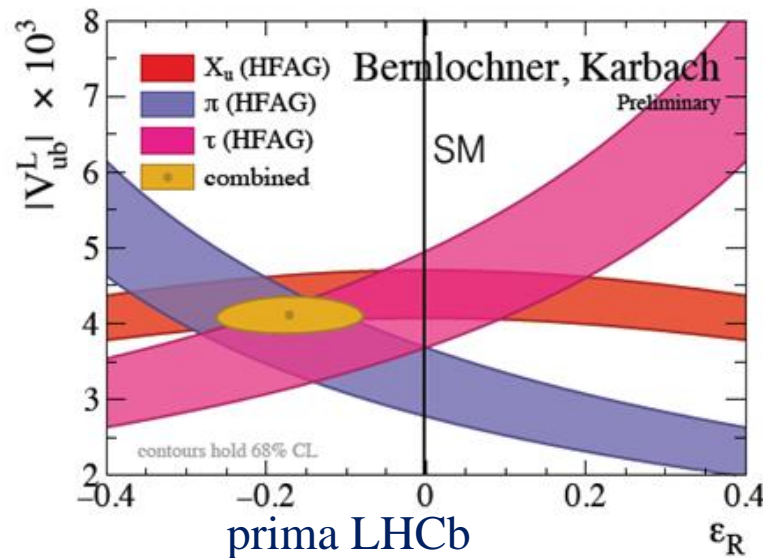
[Nature Phys. 11 \(2015\) 743-747](#)

# Risultati – Nuova fisica?

- Può questa discrepanza essere spiegata prevedendo una corrente destrorsa?
- Una corrente destrorsa negativa potrebbe ridurre la tensione tra i due risultati

Decay	$ V_{ub}  \times 10^3$	$\epsilon_R$ dependence
$B \rightarrow \pi \ell \bar{\nu}$	$3.23 \pm 0.30$	$1 + \epsilon_R$
$B \rightarrow X_u \ell \bar{\nu}$	$4.39 \pm 0.21$	$\sqrt{1 + \epsilon_R^2}$
$B \rightarrow \tau \bar{\nu}_\tau$	$4.32 \pm 0.42$	$1 - \epsilon_R$

$$\mathcal{L}_{eff} = -\frac{4G_F}{\sqrt{2}} V_{ub}^L (\bar{u} \gamma_\mu P_L b + \epsilon_R \bar{u} \gamma_\mu P_R b) (\bar{\nu} \gamma^\mu P_L l) + h.c$$



[arXiv:1408-2516] [arXiv:0907-2461]

# Conclusioni

- LHCb ha osservato il decadimento  $\Lambda_b \rightarrow p\mu\nu$  e ne ha misurato il branching ratio:  $B(\Lambda_b \rightarrow p\mu\nu) = (4.1 \pm 1.0) \times 10^{-4}$
- E' la prima osservazione di  $|V_{ub}|$  ad un collider adronico e in un canale barionico:  
 $|V_{ub}| = (3.27 \pm 0.15(\text{misura}) \pm 0.16(\text{teoria}) \pm 0.06(|V_{cb}|)) \times 10^{-3}$
- Tale misura è consistente con i valori di  $|V_{ub}|$  ottenuti alle B-factories nel canale  $B \rightarrow \pi l \nu$
- Combinando la misura di LHCb e  $B \rightarrow \pi l \nu$  la discrepanza tra misure esclusive ed inclusive risulta essere pari a  $3.9\sigma$
- Il problema della discrepanza tra le misure di  $|V_{ub}|$  rimane aperto
  - non sembra essere spiegabile con la presenza di correnti destrorse