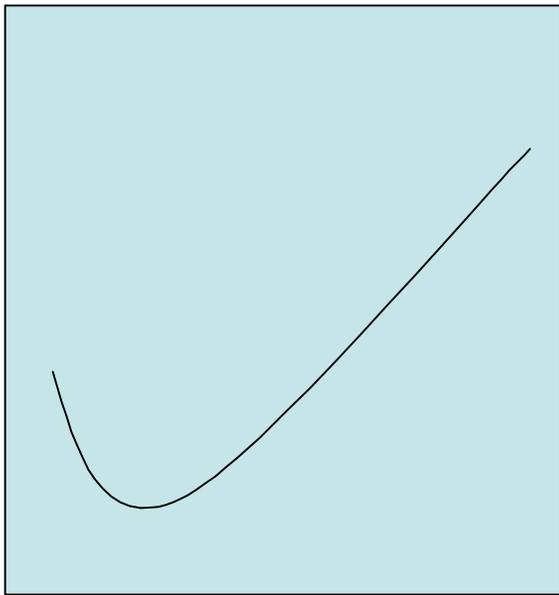


IL CONTRIBUTO DELLA QCD ALLA CRESCITA DELLE SEZIONI D'URTO TOTALI : DA HERA AL LEP AL LHC FINO AL LINEAR COLLIDER



Giulia Pancheri
INFN Frascati
Napoli, 11 giugno 2004

In collaborazione con **A. de Roeck,**
R.M. Godbole, A. Grau and Y.N.
Srivastava

JHEP 0306:061,2003

Phys.Rev.D60:114020,1999

COSA E' UNA SEZIONE D'URTO TOTALE E PERCHE' E' INTERESSANTE?

Come si misura

$a+b \rightarrow$ tutto

- Sommando tutti gli stati finali
- Usando il teorema ottico e misurando la sezione d'urto elastica

$$\sigma_{\text{tot}} = 2/s \operatorname{Im} T_{\text{el}}(s, \theta=0)$$

E' una grandezza fondamentale per

- capire fino in fondo le interazioni adroniche
- calcolare con precisione il fondo adronico in processi rari sia a LHC che al Linear Collider tramite $e+e-$ in adroni

UNO SGUARDO ALLE SEZIONI D'URTO TOTALI PP, P \bar{p} , $\gamma\gamma$

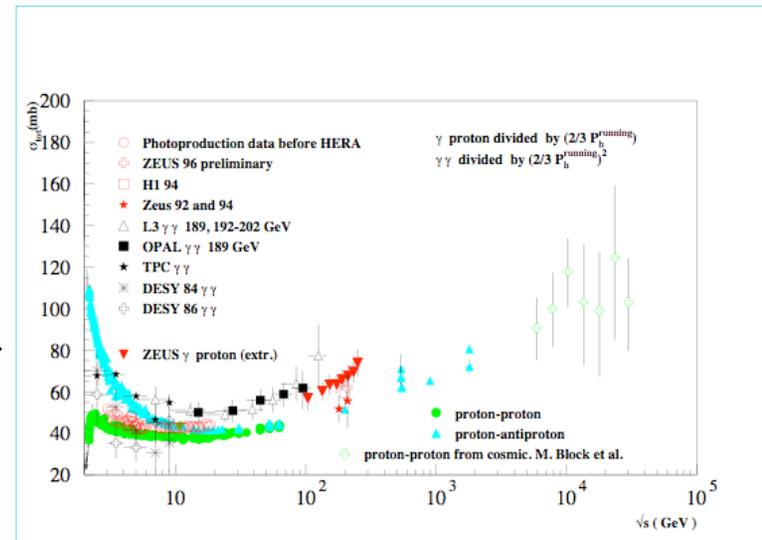
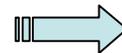
Per confrontare fra loro sezioni d'urto di grandezza così diversa, si può usare un fattore di scala che tenga conto del diverso contenuto di quarks e della diversa forza dell'interazione

$$P_{\text{had}} = P_{\text{QM}} \times P_{\text{VMD}}$$

- P_{QM} = fattore dovuto al numero di quarks : **2/3** per andare dal protone al fotone
- P_{VMD} contenuto hadronico del fotone da Vector Meson Dominance

$$P_{\text{VMD}} = \sum_{V=\rho,\omega,\phi} \frac{4\pi\alpha}{f_V^2}$$

1



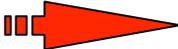
Rimangono alcune differenze

- Normalizzazione
- Discesa iniziale
- Salita con l'energia

3

COME E PERCHE' SI STUDIANO ANCORA ADESSO LE SEZIONI D'URTO TOTALI ?

- Per comprendere il ruolo della Cromodinamica quantistica nella dipendenza dall'energia delle sezioni d'urto totali

- **A LHC** i dati sulla sezione d'urto totale possono restringere il range di variabilita' dei parametri della QCD che descrivono il comportamento del **protone** 

Fattori di forma, funzioni di overlap, Pommerone (i), mini-jets, etc....

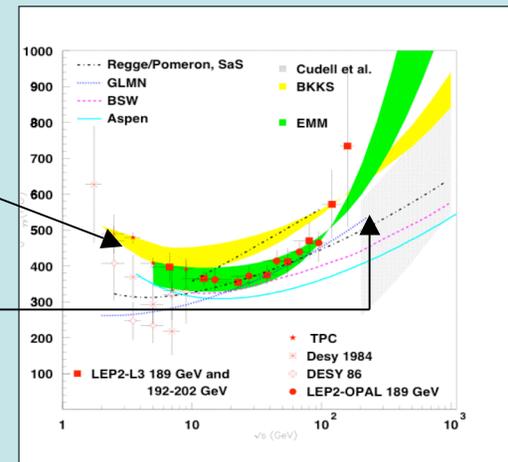
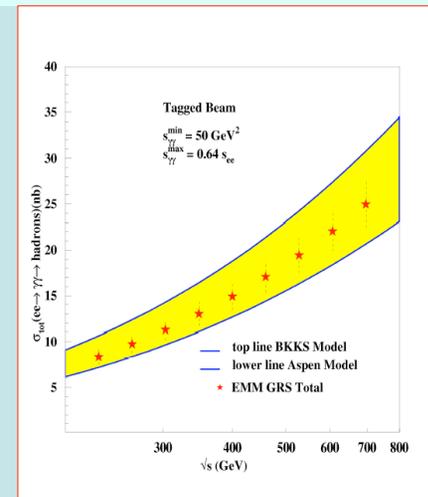
- **A HERA** i dati possono fare lo stesso per il **fotone**
- Infine si potranno fare delle predizioni con errori ragionevoli per le sezioni d'urto fotone-fotone e dunque per **e^+e^-** → adroni at **Linear Collider**

PREDIZIONI REALISTICHE AL LINEAR COLLIDER?

Le predizioni per la sezione d'urto totale e^+e^- al Linear Collider risentono dell'incertezza dei dati sulle sezioni d'urto per

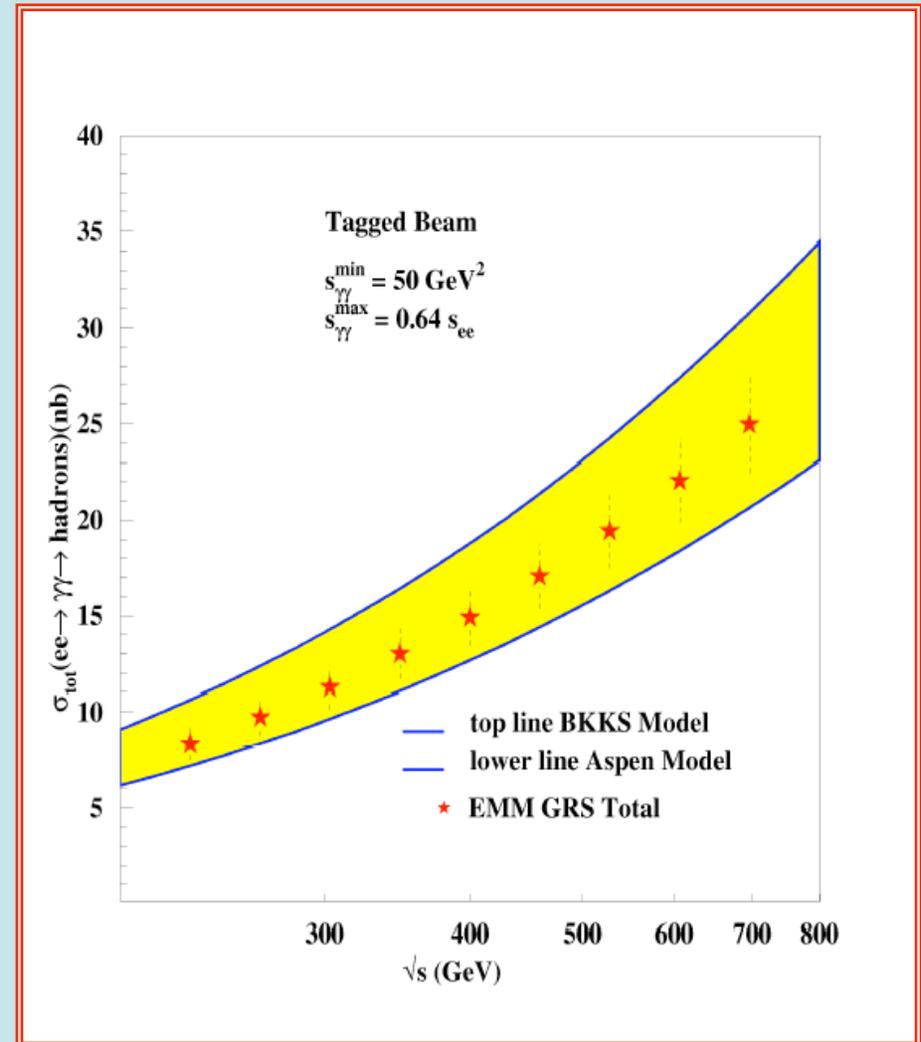
□□ che sono presenti sia

- nella zona di bassa energia, cioè nella normalizzazione che
- ad alta energia, cioè di quanto □□ sale nella regione intorno a 100-200 GeV c.m.



LINEAR COLLIDER E SCATTERING \square

- LE DIFFERENZE NELLE PREDIZIONI PER LA SEZIONE D'URTO TOTALE FOTONE-FOTONE INFLUISCONO SUGLI STUDI DEI FONDI ADRONICI AL LINEAR COLLIDER



COME MAI COSI' GRANDI DIFFERENZE PER FOTONE-FOTONE ?

- I modelli per le sezioni d'urto fotone-fotone usano degli input dalle sezioni d'urto fra protoni
- Le incertezze provenienti dai dati sulle sezioni d'urto fra **protoni** e la mancanza di modelli senza parametri liberi dai “primi principi” portano a grandi errori
- **Ci sono molti tipi di modelli** :QCD o scambi del tipo Regge-Pomeron o fattorizzazione a' la Gribov ?
- E in ogni caso **quale modello di QCD** ?

ALCUNI MODELLI PER LE SEZIONI D'URTO TOTALI

- Limiti dall'analiticità e dall'unitarietà
- Scambio di traiettorie di Regge e del Pomerone
- Approssimazione Eikonale
- Minijets dalla QCD
- Modello Eikonale a Minijet (Eikonale Minijet Model)
- Risommazione alla Bloch-Nordsieck per EMM

LIMITI DALL'ANALITICITA' E DALL'UNITARIETA'

- Il teorema di Froissart, basato sullo sviluppo in onde parziali dell'ampiezza di scattering e sul teorema ottico, oltre che su alcune (deboli) assunzioni sull'analiticità dentro all'ellisse di Lehmann nel piano complesso dell'angolo di scattering, dice

σ_{tot} non può crescere più rapidamente di $\{\log s\}^2$

SCAMBIO DI TRAIETTORIE DI REGGE E DI POMERONE

- Parametrizzazioni basate sullo scambio di traiettorie nel canale t usano il teorema ottico e proprietà di analiticità nel piano complesso del momento angolare

- $\sigma_{\text{tot}} = X s^\alpha + Y s^{-\alpha}$
- $\alpha = \alpha_{\text{pomeron}}(0) - 1$ responsabile per σ_{tot} costante o in crescita
- $\alpha = 1 - \alpha_{\text{Regge}}(0)$ responsabile per σ_{tot} che decresce

SCAMBIO REGGE + POMERONE O POMERONI (1,2,...)?

Il modello Regge+Pomerone implica che ci sia 1
Pomerone e che le potenze α e β siano le stesse
per pp, pbarp, $\bar{p}p$ e $\bar{p}\bar{p}$

Pero' non sembra andare bene per
tutte le diverse sezioni d'urto totali

$$\sigma_{\text{tot}} = X s^{\alpha} + Y s^{-\beta} + \text{alte potenze e/o log o log}^2$$

IL MODELLO EIKONALE

- Si usa per assicurare unitarieta' e analiticita' nel calcolo di σ_{tot}
- Si deriva utilizzando un potenziale fra particelle che le fa deviare di piccoli angoli in successione fino ad ottenere lo scattering osservato.

$$f(\theta) = \int d^2\vec{b} e^{i\vec{b}\cdot\vec{q}} [1 - e^{i\chi(b)}]$$

TUTTI I MODELLI PER LE SEZIONI D'URTO TOTALI
CONTENGONO DEI PARAMETRI, SIA A BASSA ENERGIA
CHE AD ALTA ENERGIA

BASSA ENERGIA : SI
FITTANO I DATI IN
PROTONE PROTONE E
PROTONE ANTIPROTONE
CON POTENZE E SI
ESTRAPOLA A GAMMA P

- PARAMETRI PER PP E PBAR-P :
 - ESPONENTI A POTENZA
 - NORMALIZZAZIONE
- PARAMETRI PER GAMMA P :
NORMALIZZAZIONE (VMD+QPM)

ALTA ENERGIA : SI
POSSONO USARE
POTENZE (POMERONE/I)
E/O GETTI DI QCD O
COMPORTAMENTI ALLA
“QCD”

- ESPONENTI A POTENZE DOVREBBE ESSERE
GLI STESSI NEI PROCESSI CON FOTONI E NEI
PROTONI
- NEI MODELLI DI QCD CUM EIKONALE, I
PARAMETRI SONO IL MINIMO MOMENTO
TRASVERSO DEI JETS O LE DENSITA'
PARTONICHE, IL PTMIN DOVREBBE ESSERE LO
STESSO, MENTRE CI POSSONO ESSERE
DIFFERENTI DENSITA' PARTONICHE E
NATURALMENTE DIVERSO CONTENUTO
PARTONICO A INDICARE CHE I PROTONI SONO
DIVERSI DAI FOTONI

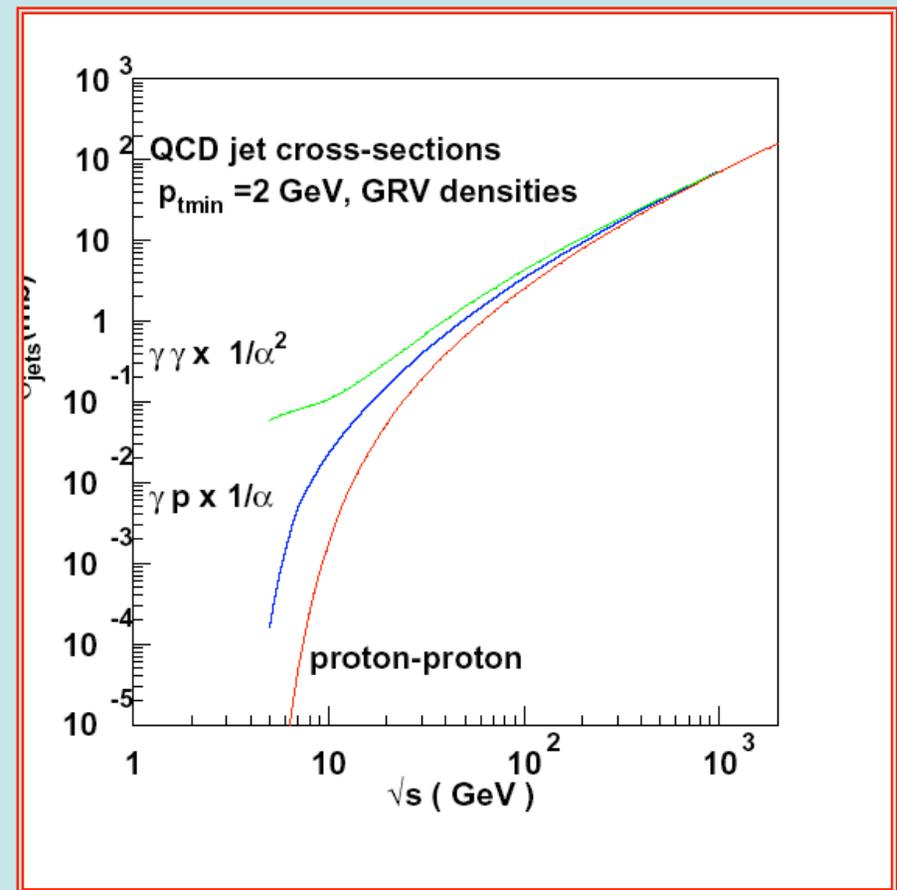
QCD : COSA DICE A PROPOSITO DELLA DIPENDENZA DALL'ENERGIA DELLE SEZIONI D'URTO TOTALI (I)

- La QCD perturbativa puo' essere usata quando $\alpha_{\text{strong}}/\pi$ e' piccolo, in pratica per momenti dei partoni intorno a 1-2 GeV
- Mentre l'energia degli adroni aumenta da 5 a 10^4 GeV in the c.m., il flusso di partoni perturbativi a piccolo x aumenta => la sezione d'urto proveniente da tali processi aumenta

Nella QCD perturbativa c'e' un meccanismo naturale per la crescita delle sezioni d'urto totali all'aumentare dell'energia

COME LA QCD INDUCE LA CRESCITA DELLE SEZIONI D'URTO TOTALI

- Le sezioni d'urto integrate in p_t crescono rapidamente con l'energia perche' il **flusso** di partoni estratti dagli adroni, **quarks e gluoni**, cresce con l'energia
- A bassa energia il contenuto di quarks e' diverso per e e p
- Con GRV, il contenuto di gluoni per e e p e' lo stesso



COME LA QCD INDUCE UNA DIMINUZIONE NELLE SEZIONI D'URTO AL CRESCERE DELL'ENERGIA

- Il numero di collisioni dipende dalla sezione d'urto fra partoni (sezione d'urto di **minijets**) e dalla collinearità dei partoni

L'emissione di gluoni soffici produce un disallineamento fra i partoni che si può calcolare con i metodi di risommazione

- $d^2P(K_\perp) \equiv \int d^2 K_\perp \mathbf{e}^{i K_\perp \mathbf{b}} e^{-h(\mathbf{b},s)}$

$$h(\mathbf{b},s) \equiv \int d^3n_g(\mathbf{k}_\perp) [1 - \mathbf{e}^{i \mathbf{K}_\perp \mathbf{b}}]$$

COME DIPENDE DALL'ENERGIA LA PROBABILITA' DI EMISSIONE SOFFICE

Qualitativamente

- Aumentando s , in media i partoni sono piu' energetici e possono emettere piu' gluoni soffici, aumentando cosi' la acollinearita' iniziale e riducendo le relative sezioni d'urto

Quantitativamente?

- Per ogni coppia di partoni occorre calcolare la energia massima concessa dalla cinematica per l'emissione del singolo gluone soffice
- Si puo' approssimare e mediare

QUANTO CONTANO I GLUONI SOFFICI?

- Se lo spettro di questi gluoni soffici e' tagliato in basso e non si raggiunge mai $k_t=0$, questi effetti sono di tipo logaritmico (Sudakhov) e non contano molto

MA

- Se non si taglia lo spettro, poiche' $\alpha_s(k_t)$ diverge a $k_t=0$, questi effetti possono essere importanti

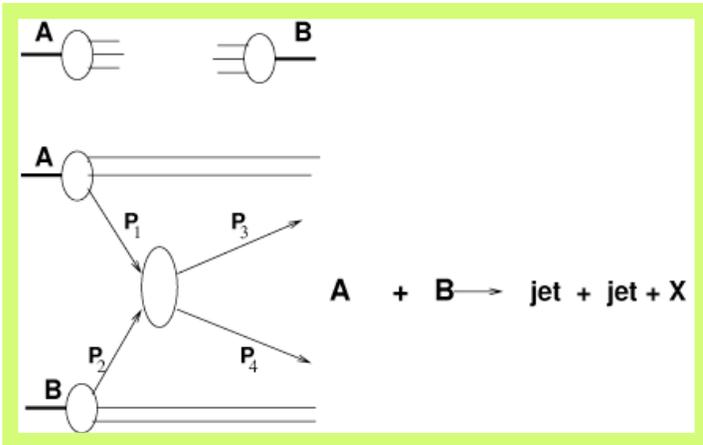
IL MODELLO EIKONALE A MINIJET

- Utilizzando la rappresentazione eikonale $\text{Im} \chi$ rappresenta il numero medio di collisioni fra due adroni che si scontrano a distanza b fra i due centri
- Occorre conoscere la distribuzione in b dentro agli adroni

$$f(\theta) = \int d^2\vec{b} e^{i\vec{b}\cdot\vec{q}} [1 - e^{i\chi(b)}]$$

$$\sigma_{pp(\bar{p})}^{\text{tot}} = 2 \int d^2\vec{b} [1 - e^{-\chi_I(b,s)} \cos(\chi_R)]$$

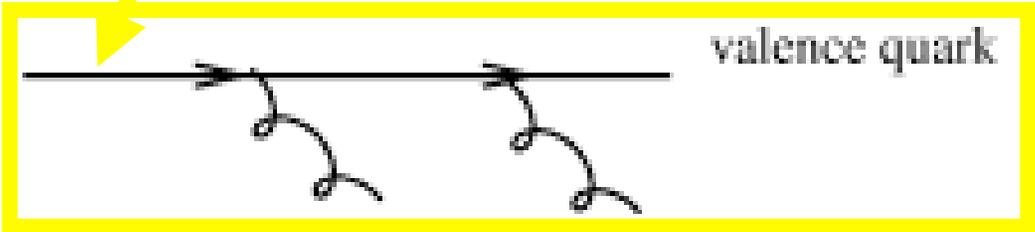
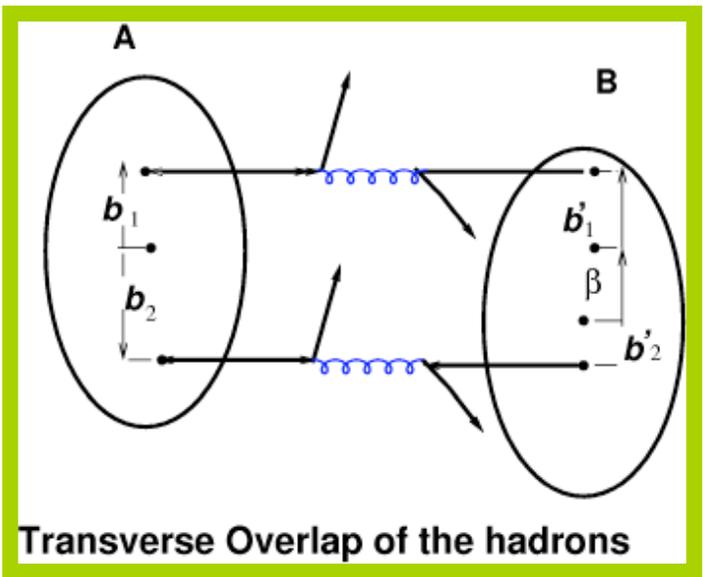
Modello di QCD per le sezioni d'urto totali : Minijets, formalismo eikonale e risommazione alla Bloch-Nordsieck



I minijets di QCD guidano la crescita di σ_{tot}

Overlap nello spazio e la rappresentazione Eikonale assicurano l'unitarieta'

L'emissione soft riduce la crescita con l'energia aumentando il disallineamento



LA DOMANDA A CUI NON SAPPIAMO RISPONDERE

La vera domanda nello studio della σ_{tot} con
QCD e'

$$\sigma_s(k_t \rightarrow 0) ?$$

- Quantita' fondamentale per la fisica degli scambi a bassissimo momento trasferito
 - Ovviamente a bassa energia
 - **Anche ad alta energia** perche' lo scattering partone-partone ad alta energia necessita di correzioni di emissione di gluoni soffici, trattabili tramite la **risommazione**, il che significa esponenziare ed integrare (ci sono molti gluoni soffici ad alta energia) da **$k_t = 0$** (sono soffici!) a qualche limite superiore deerminabile cinematicamente

Eikonal Minijet Model +risommazione a' la Bloch-

Nordsiek  **IEMM**

Improved **Eikonal Minijet Model**

Per protoni

Parametri di bassa energia

- Normalizzazione
- Distribuzione del parametro di impatto a bassa energia (b-distribution)

Parametri di alta energia

- Minimo momento trasverso dei jets
- Densita' partoniche
- Comportamento di \square_s nell'infrarosso per la risommazione in k_t dei gluoni *soffici* - collegato alla distribuzione partnica nello spazio del parametro d'impatto

RISULTATI

- Sono stati completati gli studi dei processi $\gamma\gamma$ and γp con il Modello Eikonale a Minijets e risommazione dei gluoni soft a' la Bloch-Nordsieck

Per diverse densita' dei fotoni

GRV M.Gluck, E.Reya, and A.Vogt

GRS M.Gluck, E.Reya and I.Schienbein

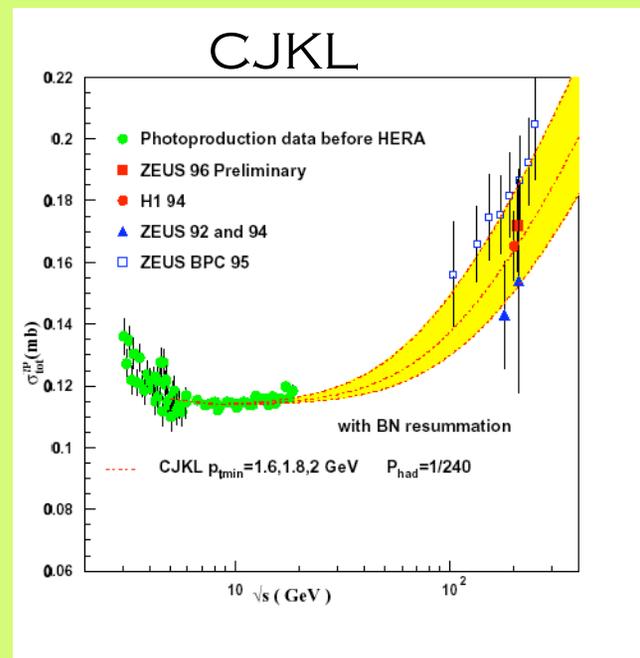
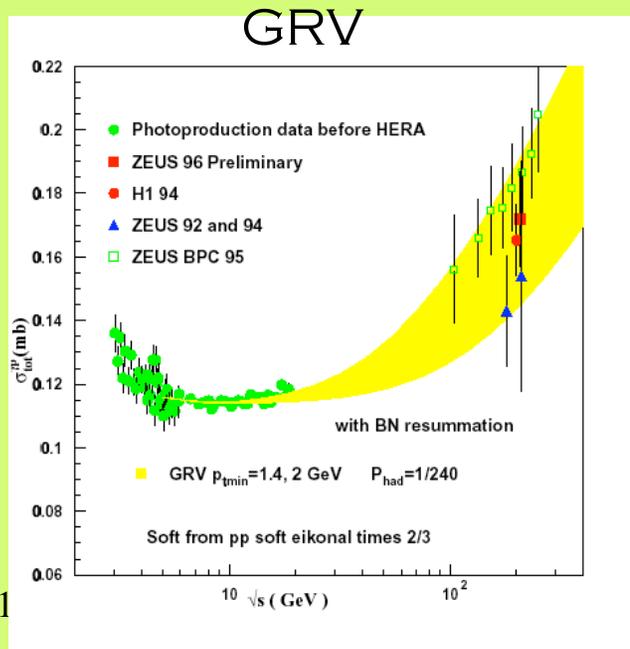
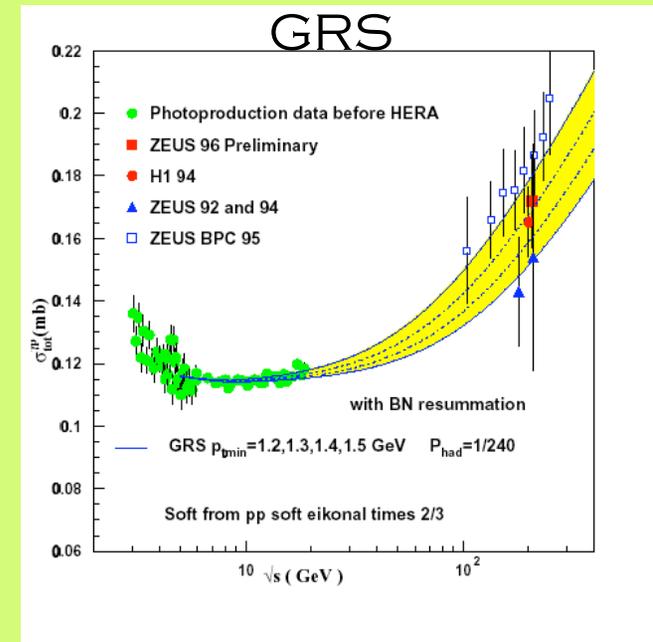
CJKL F.Cornet, P. Jankowski, M.Krawczyk and A. Lorca

$P_{\text{tmin}}=1.2$ to 2 GeV

□ P PER DIVERSE DENSITA' E VALORI DI P_{TMIN}

Densita' protone GRV
 Fotone GRV, GRS and CJKL :

$P_{tmin}=1.2$ to 2 GeV

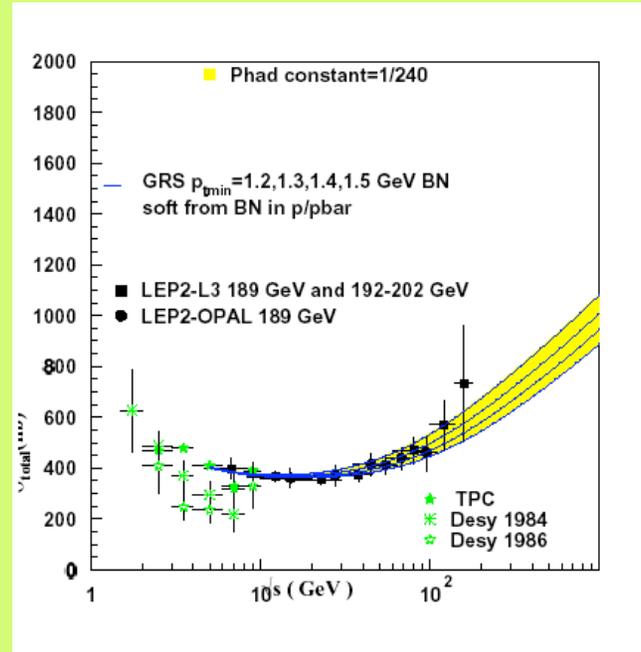




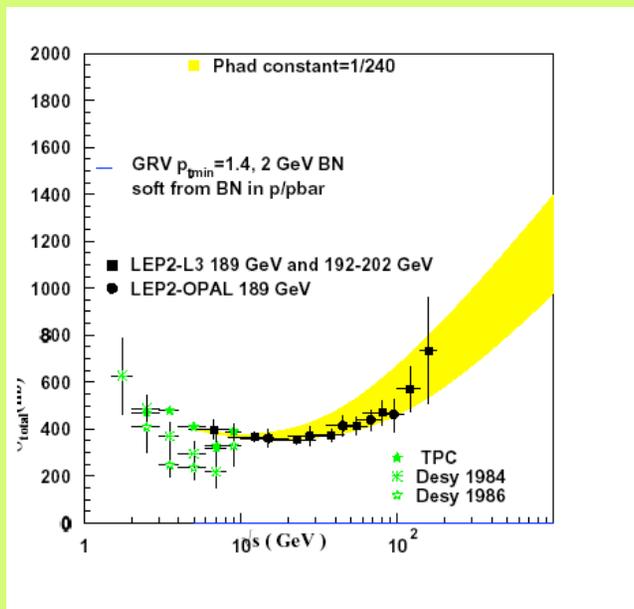
PER DIVERSE DENSITA' FOTONICHE E DIVERSI P_{TMIN}

GRV, GRS and CJKL Densities :

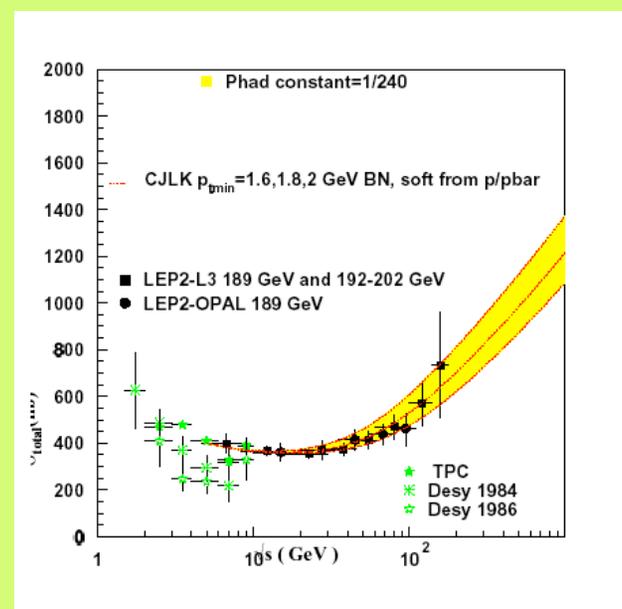
$P_{tmin}=1.2$ to 2 GeV



GRS



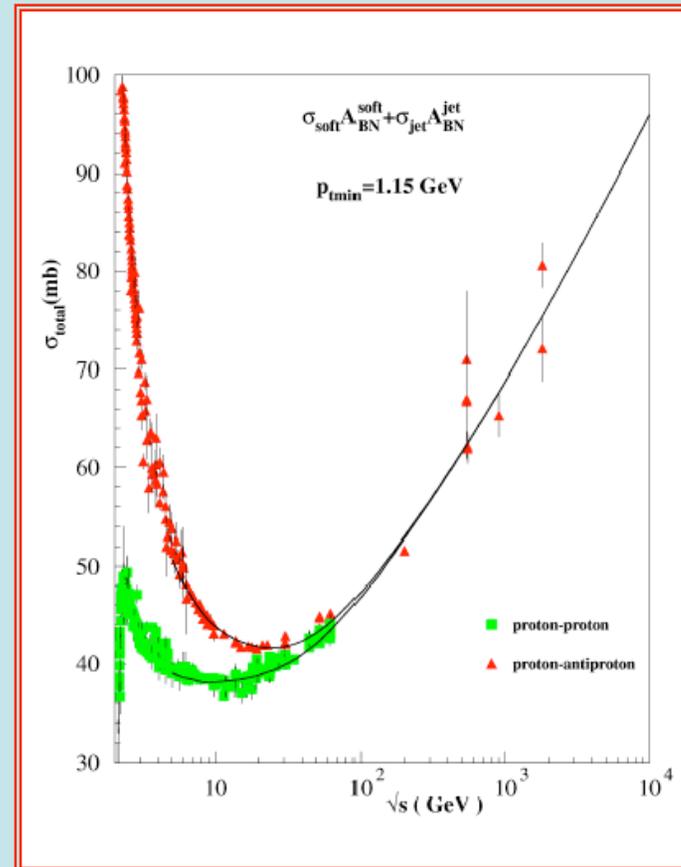
GRV



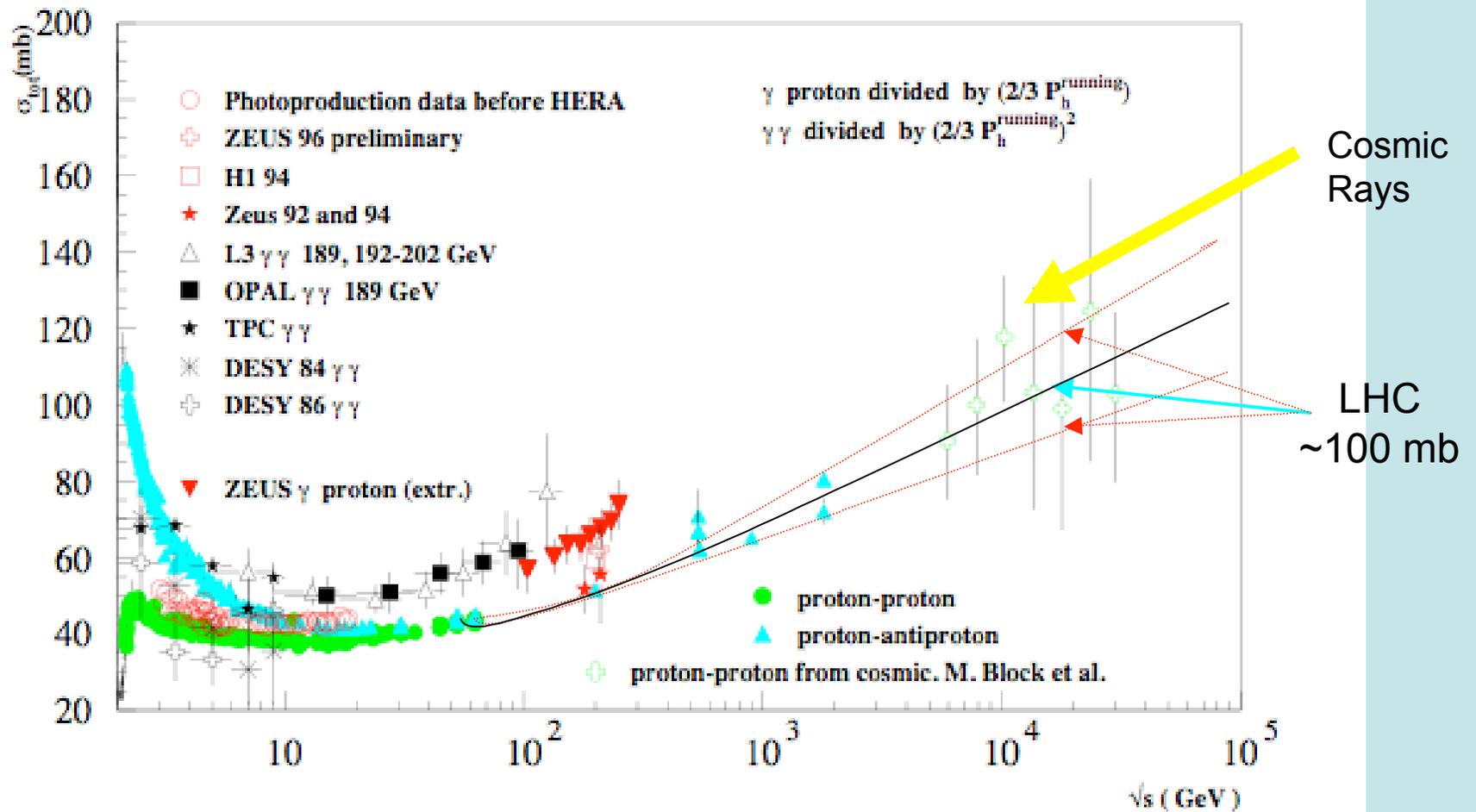
CJKL

IL CASO DEL PROTONE

- I dati del Tevatron sono consistenti sia con crescita a \log e \log^2 che con piu' di semplice Regge + 1 Pomeron
- EMM + BN model predice **98 mb** a LHC
- Il range di variabilita' dei parametri del modello, p_{tmin} e il comportamento infrarosso e' lavoro in corso



PREDIZIONI PIU' PRECISE?



DA LHC A LC :
 DA PP → ADRONI A e^+e^- → ADRONI

Un programma di lavoro per ottenere delle predizioni stabili per il Linear Collider ed imparare sui contributi della QCD a σ_{total} necessita delle misure a LHC e di un migliore comprensione di quanto possono variare i parametri :

- Le predizioni per $e^+e^- \rightarrow$ adroni vengono da $qq \rightarrow$ adroni
- I modelli esistenti debbono preparare predizioni per diversi insiemi di parametri per restringere il piu' possibile con LHC i parametri del protone
- Dai protoni ai fotoni : i dati di HERA sono cruciali per fissare il piu' possibile i parametri crucial del fotone
- Da $\bar{p}p$ e pp : qq dovrebbe essere determinato senza ulteriori parametri.