

## **CURRICULUM DELL'ATTIVITA' SCIENTIFICA E DIDATTICA** (redatto ai sensi degli Artt. 46 e 47 del D.P.R. 28.12.2000, n. 445)

Il sottoscritto Paolo Castorina, nato a Catania, il 13 Luglio 1954, residente in Aci Sant'Antonio (CT) via Lucio Pulvirenti n.5 consapevole, ai sensi dell'art. 76 del D.P.R. 445/2000, che dichiarazioni mendaci, formazione o uso di atti falsi sono puniti ai sensi del codice penale e delle leggi speciali in materia,

**DICHIARA quanto segue:**

### **Dati anagrafici**

**Paolo Castorina, nato a Catania, il 13 Luglio 1954, cittadino italiano, CSTPLA54L13C351V, residente in Aci S. Antonio (CT), via Lucio Pulvirenti 5, telefono 3285392387, e-mail: [paolo.castorina@ct.infn.it](mailto:paolo.castorina@ct.infn.it)**

**Indirizzo per le comunicazioni via posta: Paolo Castorina, via Dante 20,95021 Acicastello (CT)**

### **Note biografiche e titoli accademici**

- Diploma di maturità classica conseguito a Catania nel 1973;
- Laurea in Fisica conseguita il 13-12-1977 all' Università di Catania, summa cum laude, discutendo la tesi "Teorie delle sorgenti di Schwinger nella fisica delle particelle elementari", relatore prof. A.Agodi;
- Maggio 1978 – **Primo Classificato nel concorso nazionale dell'INFN per sei borse di studio di fisica teorica. Sede prescelta : Sezione di Bari;**
- 1981 – **Ricercatore confermato presso il Dipartimento di Fisica- Università di Bari;**
- 1983 – **Ricercatore confermato presso il dipartimento di Fisica dell'Università di Catania per trasferimento dall'Università di Bari;**
- 1984/1985 Postdoc presso il Center of Theoretical Physics (CTP) del Massachusset Institute of Technology (MIT)-USA;
- 1988- Scientific Associate alla divisone teorica del Centro Europeo di Ricerche Nucleari – Ginevra
- Giugno 1993/ Giugno 2002 - Sindaco del Comune di Acicastello (CT);

- Settembre 2002/ Dicembre 2002 – Visitor al CTP del MIT - USA;
- Settembre 2003 / Dicembre 2003 - Visitor al CTP del MIT-USA;
- Settembre 2004 – Visitor al CTP del MIT -USA;
- Giugno 2005/Agosto 2005 – Scientific Associate alla divisione teorica del CERN.
- Da **Ottobre 2006 Professore Associato Università di Catania;**

Settembre/Ottobre 2007 Visiting scientist Center Theoretical Physics – MIT

Giugno/Luglio 2008 – Visiting scientist– Università di Bielefeld-Germania

Giugno/Luglio 2009 – Visiting scientist – Università di Bielefeld

Settembre /Ottobre 2009 Visiting scientist center for Theoretical Physics- MIT

Gennaio/Febrero 2010 – Visiting scientist – Università di Bielefeld

Giugno/Luglio 2011 – Visiting scientist – Università di Bielefeld

Giugno/Agosto 2012 – Visiting scientist –Università di Bielefeld

### **2014 Abilitazione Nazionale prima fascia**

Settembre-Novembre 2014 Scientific Associate alla divisione teorica del CERN.

Giugno - 2015 Visiting Scientist –Francoforte

Giugno-Luglio 2016 – Scientific associate al CERN - Ginevra

### **Attività didattica**

#### **Corsi tenuti presso l'Università di Catania negli ultimi anni**

Dall' A.A 2005-2006 -Fisica Generale 1 per matematici  
 - Fisica del modello standard per laurea specialistica in Fisica;

Dall' A.A. 2006 ad oggi -Fisica del modello standard;

A.A. 2011-2012 - Relatività Generale ;

A.A. 2102-2013 –Introduzione alla teoria delle stringhe:

A.A. 2013-2014-2015 –Interazione radiazione materia:

A.A. 2015-2016 – Meccanica quantistica avanzata;

Insegnamenti al dottorato ed all'estero:

2010 –Corso di Teoria dei Campi a Temperatura e densità finita per il corso di dottorato in Fisica –Bielefeld – Germania

2015 –Corso di Teoria dei Campi a Temperatura e densità finita per il corso di dottorato in Fisica – Catania

Altri Insegnamenti

2012-2013 Teoria dei Gruppi in Fisica delle particelle – Scuola superiore di Catania

Aprile 2016 – Corso di Cromodinamica quantistica – Scuola superiore di Catania

- Relatore e correlatore di numerose tesi di Laurea in Fisica, sia triennale che specialistica

-I migliori studenti in tesi ( vedi elenco pubblicazioni allegato al curriculum) sono stati invitati a presentare domanda per il dottorato all'estero e si trovano a Stony Brook (L.Agozzino) e all' Albert Einstein Institute di Postdam ( M.Finocchiaro)

### **Attività di referee**

- Referee delle più prestigiose riviste di Fisica: Physical Review Letters, Physical Review, Physics letters, JHEP,ecc.
- Referee di Governi Stranieri su programmi di ricerca scientifica e tecnologica nazionali ed internazionali

### **Responsabilità Organizzative**

- a) Responsabile del progetto MARIE CURIE ACTIONS, Intra-European Fellowship (IEF) Call: FP7-PEOPLE -2011-IEF, in collaborazione con università tedesche, denominato NEWPHYSICS-RHIC, che ha superato tutti i livelli di recensione ( vedi allegato) ma non è stato finanziato per insufficienza di fondi.

b) Responsabile locale PRIN

Dalla scheda di valutazione del PRIN da parte di referee stranieri si riporta quanto segue:

"..... **Paolo Castorina**, ..... are also internationally well known for their contributions to various aspects of QGP physics."

c) Responsabile locale Iniziativa specifica RM31 dell'Istituto Nazionale Fisica Nucleare

d) Responsabile FIR – Interazioni fondamentali in sistemi fortemente correlati: aspetti teorici e fenomenologici

### **ORGANIZZAZIONE CONFERENZE E WORKSHOP (dal 2006)**

1) Ettore Majorana's legacy and the physics of the 21st century. Proceedings, International Conference in commemoration of the centennial of Majorana's birth, EMC2006, Catania, Italy, October 5-6, 2006.

2) EXOCT 2007: International Symposium on Exotic States of Nuclear Matter, Catania, Italy, 11-15 Jun 2007.

3) Workshop "Quarkonium production" – Acitrezza – Italy – 2011.

### **Relazioni su invite a Congressi Internazionali ( ultimi due anni)**

Invited speaker a RESONANCE WORKSHOP AT CATANIA. 2014 (It)

Invited speaker a Critical Point and Onset of Deconfinement 2015 (Ge)

Invited speaker –plenary talk – Strangeness in Quark Matter –Dubna 2015 (Russia)

Invited speaker – XV conference on Nuclear Physics in Italy, Pisa ,2016

## **Attività Divulgativa Nazionale e Internazionale**

Libro : “La particella di Dio e L’origine della massa” – Editori Riuniti – University Press – 2011. – seconda edizione stampata nel 2012. Circa 4000 copie vendute.

Partecipazione alle Giornate di cultura di Brescia – 2013 ( vedi allegato)

Intervista al quotidiano svizzero in lingua italiana , Corriere del Ticino, sulla scoperta della particella di Higgs ( vedi allegato).

Presentazione del suddetto libro in varie città Italiane ( Roma, Venezia,Caltanissetta,Catania).

## **COLLABORAZIONI SCIENTIFICHE IN CORSO**

- Center of Theoretical Physics -MIT -USA
- Penn. State University – USA
- Boston University – USA
- Università di Firenze
- Università di Bielefeld (GE)
- Università di Città del Capo (S. Africa)
- Università di Praga (Rep. Ceca)

## **Attività di ricerca (sintesi)**

**L'attività di ricerca copre uno spettro molto ampio di settori ed argomenti e pertanto viene suddivisa in vari paragrafi. La discussione analitica viene svolta più avanti.**

- A) Cromodinamica quantistica a temperatura e densità finita ed aspetti fenomenologici del quark-gluon plasma:**
- B) Analisi di proprietà caratteristiche delle teorie di campo non commutative e di possibili effetti fenomenologici ad esse correlati**
- C) Studio di alcuni problemi legati alla fenomenologia del Modello Standard delle interazioni elettrodeboli e forti;**
- D) Problemi non perturbativi in QCD, proprietà esatte del potenziale efficace.**
- E) Modellizzazione e studio dell'evoluzione dinamica di sistemi complessi con l'applicazione di tecniche di Fisica Teorica a settori interdisciplinari.**

## Presentazione delle 20 pubblicazioni allegate

### **A) Cromodinamica quantistica a temperatura e densità finita ed aspetti fenomenologici del quark-gluon plasma:**

#### **1) Thermal Hadronization and Hawking-Unruh Radiation in QCD**

P.Castorina, D. Kharzeev (Brookhaven), H. Satz (Bielefeld U.)  
Eur.Phys.J. C52 (2007) 187-201

Il meccanismo di produzione degli adroni nello stato finale consiste nella rottura di stringhe quark-antiquark e tale meccanismo è implementato nei programmi Montecarlo che simulano l'adronizzazione nelle collisioni e+e-, protone,-protone, nucleo-nucleo, ecc.

Nel suddetto lavoro è stato proposto un meccanismo di radiazione di Hawking-Unruh in QCD

interpretando la rottura della stringa quark-anti quark come un fenomeno di tunneling attraverso l'orizzonte degli eventi di colore, connesso al confinamento.

Questa interpretazione ha molti vantaggi:

- 1) si applica sia a processi elementari, come collisioni e+e-, sia a processi come l'urto ad alte energie nucleo-nucleo.
- 2) Spiega il comportamento statistico della produzione adronica con una temperatura universale, cioè indipendente dalle particelle nello stato iniziale dell'urto.
- 3) La soppressione della stranezza osservata nelle collisioni elementari è una conseguenza della massa del quark strano che modifica la temperatura di Hawking-Unruh (vedi pubblicazione successiva)
- 4) Non c'è termalizzazione del sistema: le particelle vengono generate in "equilibrio", tutte con la stessa temperatura associate all'effetto Hawking-Unruh.

#### **2) The Thermal Production of Strange and Non-Strange Hadrons in e+ e- Collisions**

[F. Becattini \(Florence U. & INFN, Florence\)](#), [P. Castorina](#), [J. Manninen \(INFN, Florence\)](#), [H. Satz \(Bielefeld U.\)](#).  
Eur.Phys.J. C56 (2008) 493-510

L'interpretazione alla Hawking-Unruh del processo di adronizzazione permette di spiegare il fenomeno della soppressione di produzione di particelle strane negli urti elementari (e+e-, adrone-adrone) rispetto alle collisioni nucleo-nucleo, senza alcun parametro ma introducendo gli effetti della massa dei quarks. Le precedenti spiegazioni in letteratura introducevano dei parametri ad hoc, mentre la presente pubblicazione

mostra che tra le particelle con stranezza e quelle più leggere non c'è equilibrio termico, ma una lieve differenza di temperatura associata alla produzione di adroni con stranezza rispetto a quella delle particelle senza quark strani. Questa differenza di temperatura spiega la soppressione osservata sperimentalmente.

3) **A Comparative analysis of statistical hadron production**

F. Becattini (Florence U. & INFN, Florence), P. Castorina, A. Milov (Weizmann Inst.), H. Satz (Bielefeld U.).  
**Eur.Phys.J. C66 (2010) 377-386**

Il modello statistico applicato alla produzione adronica presenta diverse sottigliezze che possono generare risultati poco affidabili soprattutto nell'applicazione ad urti elementari. In questo lavoro si chiarisce la corretta metodologia di applicazione e si discutono le differenze nel modello statistico di adronizzazione tra gli urti elementari ( $e+e-$ , protone-protone, ecc.), dove è cruciale l'esatta conservazione dei numeri quantici correttamente implementata, e gli urti relativistici tra ioni pesanti, usualmente descritti nell'insieme gran-canonico.

4) **Quark matter in neutron stars within the Nambu - Jona-Lasinio model and confinement**

M. Baldo, G.F. Burgio, P. Castorina, S. Plumari, D. Zappala.  
**Phys.Rev. C75 (2007) 035804**

Nel nucleo delle stelle di neutroni, dove si raggiungono densità di neutroni molto elevate, è possibile la formazione di materia a quark. In queste condizioni la massa, il raggio e la stessa stabilità della stella dipendono dall'equazione di stato della materia a quark. Nel suddetto lavoro le proprietà di stabilità delle stelle di neutroni con la materia a quark descritta nel modello di Nambu-Jona Lasinio, il cui cut-off viene opportunamente modificato per migliorare l'accordo con alcune proprietà di QCD. Si mostra la necessità del confinamento per ottenere un'equazione di stato della materia a quark che permetta di raggiungere la stabilità della stella.

5) **Trace Anomaly and Quasi-Particles in Finite Temperature SU(N) Gauge Theory.**

Castorina P, Miller D E, Satz H  
**The European Physical Journal C, Particles and Fields, vol. 71, p. 1673-1677, (2011).**

Quali sono gli effettivi gradi di libertà della QCD in prossimità della transizione di deconfinamento? L'iniziale interpretazione del deconfinamento come transizione ad un



plasma di quarks e gluoni debolmente interagenti si è infatti rivelata errata e i modelli a

quasi-particelle mostrano una grande massa effettiva ( maggiore di 1 GeV) alla temperatura di transizione. In questo lavoro si mostra come l'introduzione di una densità di energia del vuoto non è sufficiente per descrivere l'anomalia di traccia a temperatura finita in teorie di Yang-Mills e si introduce una spiegazione fisica della massa delle quasi-particelle in termini del comportamento critico.

6) **Polyakov Loop and Gluon Quasiparticles in Yang-Mills Thermodynamics**

M. Ruggieri (Catania U.), P. Alba (INFN, Catania), P. Castorina, S. Plumari (Catania U. & INFN, Catania), C. Ratti (Turin U. & INFN, Turin), V. Greco (Catania U. & INFN, Catania). .  
**Phys.Rev. D86 (2012) 054007**

Nelle teorie di gauge a temperatura finita il loop di Polyakov ha un importante ruolo dinamico. In questo lavoro si discute proprio il ruolo del loop di Polyakov nei modelli a quasi-particelle, mostrando che la sua dinamica riduce drasticamente la massa delle quasi-particelle alla temperatura critica. La rappresentazione dei gradi di libertà immediatamente al di sopra della temperatura rimane comunque quella di cluster massivi con numeri quantici di colore.

7) **Critical Endpoint and Inverse Magnetic Catalysis for Finite Temperature and Density Quark Matter in a Magnetic Background**

M.Ruggieri (Catania U.), L. Oliva (Catania U. & INFN, Catania), P. Castorina (Catania U. & INFN, Catania & Catania U.), R. Gatto (Geneva U., Dept. Theor. Phys. & Geneva U.), V. Greco (Catania U. & INFN, Catania & INFN, LNS).  
Published in **Phys.Lett. B734 (2014) 255-260**

Lo studio della QCD in presenza di un campo magnetico di background,  $B$ , è particolarmente interessante anche per gli aspetti cosmologici e sono state effettuate numerose simulazioni di QCD a temperatura finita in un campo magnetico per studiarne l'effetto sulla transizione di deconfinamento e di simmetria chirale. In questo lavoro si studia la rottura della simmetria chirale, in un background magnetico ed a potenziale chimico barionico finito, nel formalismo dell'azione effettiva di Ginzburg-Landau e, a livello microscopico, nel modello rinormalizzato a quark-mesoni.

Si analizza il comportamento del cosiddetto critical end -point (CP) in funzione di  $B$ , mostrando che per piccoli valori di  $B$  il CP si sposta verso valori minori del potenziale chimico, mentre per grandi  $B$  si ha l'effetto opposto (catalisi magnetica).

**B) Analisi di proprietà caratteristiche delle teorie di campo non commutative e di possibili effetti fenomenologici ad esse correlati:**

**8) Noncommutative gravitational quantum well**

O. Bertolami, [J.G. Rosa \(Lisbon, IST\)](#), [C.M.L. de Aragao](#), [P. Castorina](#), [D. Zappala \(Catania U. & INFN, Catania\)](#)  
**Phys.Rev. D72 (2005) 025010**

Le teorie di campo non commutative hanno attratto grande attenzione sulla base della teoria delle stringhe, ma hanno poi avuto uno sviluppo indipendente come prototipo di teorie di campo non locali. La non commutatività, sia spazio-temporale che nello spazio degli impulsi, è descritta in termini di parametri non commutativi i cui valori sono fortemente limitati dalla fenomenologia sia a livello quantistico (meccanica quantistica non commutativa) che di teoria dei campi. La non commutatività spaziale modifica, ad esempio, il comportamento quantistico di neutroni nel campo gravitazionale, sul quale si hanno dati sperimentali molto precisi. Questo lavoro dà i limiti più stringenti, ad oggi, sui parametri di non commutatività nello spazio degli impulsi.

**9) Scaling of variables and the relation between noncommutative parameters in non commutative quantum mechanics.**

O. Bertolami, [J.G. Rosa \(Lisbon, IST\)](#), [C.M.L. de Aragao](#), [P. Castorina](#), [D. Zappala \(Catania U. & INFN, Catania & INFN, LNS\)](#).  
**Mod.Phys.Lett. A21 (2006) 795-802**

Gli effetti non commutativi introducono nelle usuali relazioni di commutazione della meccanica quantistica una modifica della costante di Planck. Tuttavia si mostra che, sulla base degli attuali limiti fenomenologici sui parametri di non commutatività, la modifica è praticamente non osservabile. Si studia inoltre il ruolo di un eventuale parametro di scala nelle relazioni tra variabili dinamiche commutative e non commutative mostrando che solo modifiche auto-consistenti delle relazioni di commutazione hanno significato fisico.

10) **Noncommutative Synchrotron**

Paolo Castorina (MIT & Catania U. & INFN, Catania), Alfredo Iorio (MIT & INFN, Catania), Dario Zappala (Catania U. & INFN, Catania).  
**Phys.Rev. D69 (2004) 065008**

Gli effetti non commutativi modificano le relazioni di dispersione tra energia impulso e massa della relatività ristretta, quindi violando l'invarianza di Lorentz. Pertanto è interessante verificare se alcuni fenomeni elettromagnetici vengono modificati in maniera sensibile, anche in considerazione che tali effetti vengono notevolmente amplificati dalla presenza di un campo magnetico esterno. Dopo la determinazione delle equazione di Maxwell non commutative, sulla base della mappa di Seiberg-Witten, si è studiato la radiazione di sincrotrone non commutativa, individuando due fenomeni specifici della non commutatività: la modifica dello spettro della radiazione emessa e l'emissione di radiazione fuori dal piano dell'orbita. Tuttavia una possibile verifica sperimentale di tali effetti richiede, sulla base dei limiti noti sui parametri di non commutatività, un campo magnetico di intensità superiore a quello delle magnetars.

11) **Nonuniform Symmetry Breaking in Noncommutative Lambda Phi<sup>4</sup> Theory**

Paolo Castorina (Catania U. & INFN, Catania), Dario Zappala (INFN, Catania & Catania U.).  
**Phys.Rev. D68 (2003) 065008**

Un noto lavoro di Gubser e Sondhi ha suggerito, ma non dimostrato, che nelle teorie di campo non commutative la rottura spontanea della simmetria può avvenire solo su configurazioni di campo non uniformi (cioè dipendenti dalla posizione). Le teorie di campo non commutative sono non locali e, nel presente lavoro, si è studiata la rottura spontanea della simmetria per un campo scalare auto-interagente non commutativo con la tecnica del potenziale effettivo per operatori composti. Si mostra che gli effetti di non commutatività permettono la rottura spontanea della simmetria solo per configurazioni di campo non omogenee, risultato successivamente confermato dalle simulazioni sul reticolo.

C) **Studio di alcuni problemi legati alla fenomenologia del Modello Standard delle interazioni elettrodeboli e forti;**

12) **Hadronic width of the Z from a global fit to e+e- → hadrons data**

V. Branchina, P. Castorina, M. Consoli, D. Zappala (Catania U.).  
**Phys.Rev.Lett. 65 (1990) 3237-3240**

Si è effettuata un'analisi globale dei dati e+e- in adroni, includendo tutte le correzioni radiative elettrodeboli e forti, per estrarre un valore effettivo delle correzioni di QCD alla larghezza adronica della Z dai primi dati del LEP. I dati ad energie più basse sono importanti per determinare la corretta dipendenza di tali correzioni dalla scala di energia e quindi sono stati inclusi

nel fit globale. I dati definitivi del LEP hanno successivamente ridotto gli errori sulla line-shape della Z, ma l'analisi dettagliata dei dati sul rapporto R tra le nel range di energia del centro di massa tra 22 e 62 GeV, ottenuti a PEP-PETRA e TRISTAN, rimane la più precisa tra quelle disponibili in letteratura.

13) **Twist Four Corrections To Asymmetry In Polarized Electron Deuteron Scattering**

P. Castorina (MIT, LNS), P.J. Mulders (NIKHEF, Amsterdam).  
**Phys.Rev. D31 (1985) 2760-2764**

I recentissimi esperimenti al Jlab sull'asimmetria nello scattering di elettroni polarizzati su protoni ha dato, dopo molti anni, maggiore rilevanza al suddetto lavoro nel quale si stimano le correzioni di twist 4, spin2, calcolate per valutare l'incertezza sulla determinazione dell'angolo di Weinberg e le violazioni alla relazione di Callan-Gross. La scala degli effetti di higher twist è non perturbativa e quindi richiede un modello di confinamento. Nel suddetto lavoro viene utilizzato il modello a bag.

14) **Shadowing in Deep Inelastic Scattering From a Parton Viewpoint**

P. Castorina (CERN & Catania U.), A. Donnachie (CERN & Manchester U.).  
**Phys.Lett. B215 (1988) 589-592**

L'urto profondamente inelastico su targhette nucleari presenta alcune importanti differenze rispetto al caso di nucleoni liberi. In particolare, anche a grandi  $Q^2$ , cioè a corte distanze, e nella regione di piccoli x, le funzioni di struttura per nucleone in un nucleo sono più piccole rispetto a quelle del nucleone libero, fenomeno detto di shadowing. Lo shadowing richiede un'interpretazione in QCD e, preliminarmente, nel modello a partoni. Il presente lavoro costituisce, come ben noto agli esperti del settore, il primo modello dell'effetto shadowing a livello partonico che mostra una riduzione delle distribuzione dei quark nei nuclei a piccolo x.

Il modello prevede che, a causa della sovrapposizione di nucleoni nel nucleo, a piccolo x, la distanza media effettiva tra i quark in un nucleo è minore rispetto ai quark confinati nel nucleone libero. Imponendo la energy-momentum sum rule si trova anche il fenomeno di anti-shadowing a x più grandi. L'interpretazione in termini di QCD è dovuta ad un effetto di annichilazione di partoni nei nuclei in questo range cinematico che va inserita nelle equazioni di evoluzione delle funzioni di struttura in QCD.

### 15) Nuclear Shadowing in the Holographic Framework

L. Agozzino, P. Castorina (Catania U. & INFN, Catania), P. Colangelo (INFN, Bari).  
**Phys.Rev.Lett. 112 (2014) no.4, 041601**

Lo shadowing è un fenomeno non perturbativo e quindi è utile una sua trattazione in un framework dove si possono trattare gli effetti di strong coupling.

Nel suddetto lavoro, il primo caso di applicazione dell'approccio olografico a fenomeni nucleari, si è utilizzata la corrispondenza AdS/CFT. Si è mostrato che gli effetti non perturbativi che generano lo shadowing possono essere interpretati nello schema olografico in termini del rescaling di  $Q^2$ : l'effettivo  $Q^2$  "visto" nello scattering inelastico in un nucleo è diverso da quello "visto" dai partoni nel protone libero. Questo rescaling di  $Q^2$  genera l'effetto shadowing ed era stato precedentemente proposto, su basi completamente diverse, in QCD per spiegare un effetto diverso delle funzioni di struttura a grande  $x$ , noto come effetto EMC.

## D) Problemi non perturbativi in teoria dei campi e QCD,

### 16) QCD Chiral Symmetry Breaking in a Rayleigh-Ritz Variational Calculation

P. Castorina (MIT, LNS), So-Young Pi (Boston U.).  
Published in **Phys.Rev. D31 (1985) 411**

Il calcolo del potenziale efficace per operatori composti è lo strumento più idoneo per studiare analiticamente la rottura della simmetria chirale in QCD. Il calcolo esatto è ovviamente impossibile e si è costruita un'equazione auto-consistente per la massa dei quarks con un calcolo del potenziale effettivo a 2 loop. Tuttavia tale calcolo richiede anche delle informazioni sul comportamento della teoria nella regione infrarossa. Assumendo che la costante d'accoppiamento sia indipendente dalla scala degli impulsi nella regione infrarossa, anche la massa generata, in questa regione, diviene costante. La regione infrarossa viene quindi collegata in maniera continua con il comportamento a corte distanze, sotto controllo perturbativo. Si mostra quindi che in QCD si ha la rottura della simmetria chirale se la teoria è strong-coupling nella regione infrarossa.

17) **Convexity property of the variational approximation to the effective potential**

V. Branchina, P. Castorina, D. Zappala (Catania U.).  
Published in **Phys.Rev. D41**

Il suddetto lavoro è citato nel II volume dell'opera di S.Wienberg "Quantum Field Theories" ( 5 volumi).

L'analisi della rottura spontanea della simmetria in teorie di campo utilizza il concetto di azione efficace e potenziale efficace. Il potenziale efficace gode della proprietà esatta della convessità, a differenza della rappresentazione "naive" della rottura della simmetria che utilizza un potenziale a doppia buca, cioè con minimi degeneri ma non convesso. Se il potenziale efficace è convesso come avviene la rottura della simmetria? Un metodo è la cosiddetta costruzione di Maxwell. Invece, nel suddetto lavoro si considera una teoria scalare auto-interagente e delle configurazioni di campo, espresse da combinazioni di funzionali gaussiani, che riproducono la proprietà esatta di convessità del potenziale efficace. Nel limite di volume infinito, tuttavia, solo una delle configurazioni di campo sopravvive, quella con un valore di aspettazione del campo nel vuoto diverso da zero.

18) **Nambu-Jona Lasinio model of anti-quark quark Bose-Einstein condensation and pseudogap phase**

P. Castorina (Catania U. & INFN, Catania), G. Nardulli (Bari U. & TIRES, Bari & INFN, Bari), D. Zappala (Catania U. & INFN, Catania).  
Published in **Phys.Rev. D72 (2005) 076006**

L'esistenza di stati legati quark-antiquark oltre la linea critica nel piano T-potenziale chimico, verificata anche con i modelli a quasi-particella, ha in letteratura varie spiegazioni. Il modello di Nambu-Jona Lasinio è considerato come una descrizione effettiva della QCD a basse energie, tuttavia esso non ha una fase confinata e la transizione è tra fasi in cui la simmetria chirale è rotta o meno. In questo lavoro si mostra, nel modello di Nambu-Jona Lasinio, che il fenomeno di persistenza di stati legati oltre la transizione è dovuta ad una fase pseudo-gap, cioè una fase dove la simmetria chirale è stata ripristinata ma esistono eccitazioni quark-antiquark con massa diversa da zero. Questo comportamento è intermedio tra quello di un superconduttore BCS ed un condensato di Bose-Einstein.

## **E) Applicazione di tecniche di Fisica Teorica ad altri settori**

### **19) Phenomenological Universal Classification scheme for growth problems in Physics and other Sciences.**

Castorina P., C.Guiot e P.P. Delsanto  
Pubblicato su **Phys. Rev.Lett. vol 96 (2006) 188701**

In Fisica, Biologia, Scienza dei Materiali, Medicina, ecc. esistono numerose leggi di crescita a livello macroscopico. Si è introdotta una classificazione generale delle leggi di crescita – utilizzando la tecnica della funzione generatrice – e ciò permette di analizzare rapidamente gli andamenti di crescita nella loro totale generalità e verificare la interconnessione tra settori diversi.

### **20) Tumor Growth Instability and Its Implications for Chemotherapy.**

Castorina P, D. Carcò, C.Guiot and T.S. Deisboeck  
**CANCER RESEARCH**, vol. 69, p. 8507-8515, (2009)

I protocolli di chemioterapia sono determinati attraverso classificazioni e dati empirici. La necessità di una formalizzazione più chiara degli effetti della terapia è molto sentita dal settore medico e la rivista più importante della ricerca sul cancro ha avviato una sezione denominata oncologia matematica. Nel suddetto lavoro, in collaborazione con Harvard e MIT – MGH, l'effetto di ricrescita dei tumori durante i protocolli chemioterapici è stata analizzata in dettaglio. L'applicazione più importante è al caso di tumori "instabili", nei quali accade che una piccola parte della massa tumorale osservata inizialmente sia dovuta ad una parte di cellule che si duplica ad una velocità molto più grande delle restanti cellule del tumore. In questo caso, sia che l'instabilità abbia inizio prima o dopo l'inizio della chemioterapia, si è mostrato che gli usuali protocolli sono insufficienti a garantire un adeguato grado di cura e il metodo applicato, di Simon-Norton, va rivisto.

**ATTIVITA' DI RICERCA - DISCUSSIONE ANALITICA**  
(tra parentesi il numero delle corrispondenti pubblicazioni nell'elenco allegato  
al presente curriculum)

FISICA DELLE ALTE ENERGIE E FISICA NUCLEARE

**A) Cromodinamica quantistica a temperatura e densità finita ed aspetti fenomenologici del quark-gluon plasma;**

L'attività di ricerca del periodo più recente si è focalizzata sulle proprietà della Cromodinamica Quantistica (QCD) a temperature e densità barionica finita sia sotto l'aspetto teorico che fenomenologico.

A1) Interpretazione della temperature di adronizzazione/deconfinamento come temperatura di Hawking-Unruh.

Il meccanismo di produzione degli adroni nello stato finale consiste nella rottura di stringhe quark-antiquark e tale meccanismo è implementato nei programmi Montecarlo che simulano l'adronizzazione nelle collisioni e+e-, protone,-protone, nucleo-nucleo ecc.

In ref.(32) è stato proposto un meccanismo di radiazione di Hawking-Unruh in QCD interpretando la rottura della stringa quark-anti quark come un fenomeno di tunneling attraverso l'orizzonte degli eventi di colore, cioè connesso al confinamento.

Questa interpretazione ha molti vantaggi:

- 5) si applica sia a processi elementari , come collisioni e+e-, sia a processi come l'urto ad alte energie nucleo-nucleo .
- 6) Spiega il comportamento statistico della produzione adronica con una temperatura universale, cioè indipendente dalle particelle nello stato iniziale dell'urto (ref. 32).
- 7) La soppressione della stranezza osservata nelle collisioni elementari è una conseguenza della massa del quark strano che modifica la temperatura di Hawking-Unruh ( ref. 5,26,88,90)
- 8) Non c'è termalizzazione del sistema: le particelle vengono generate in "equilibrio", tutte con la stessa temperatura associate all'effetto Hawking-Unruh (ref.32).

L'effetto Hawking-Unruh richiede un'accelerazione costante e la corrispondente metrica di Rindler ( ossia la metrica per un osservatore accelerato) coincide con lo sviluppo della metrica di un black-hole in prossimità dell'orizzonte degli eventi. Pertanto in ref.(25) ci si è posta la domanda di vedere quale tipo di black-hole gravitazionale simula meglio il fenomeno di adronizzazione nello sviluppo "near horizon" della metrica. Questa analogia permette di comprendere la dipendenza della temperatura di adronizzazione dall'energia della collisione.



In ref. (15) il modello statistico è stato applicato anche per la predizione delle produzione adronica ad LHC.

## A2) Critical-line e percolazione

In ref.(20) la struttura di fase della materia nucleare viene interpretata in termini di proprietà geometriche degli adroni. Al crescere della densità dei costituenti, aventi estensione spaziale finita, cioè aumentando la temperatura o il potenziale bario-chimico, ad un certo punto la loro sovrapposizione elimina il vuoto fisico. La transizione di fase nel piano T-potenziale chimico è stata determinata attraverso la teoria della percolazione. A basse densità barioniche ciò significa la “fusione” di bag mesoniche che si sovrappongono, mentre ad alte densità, la repulsione hard-core limita la mobilità spaziale dei barioni. Ci sono quindi due distinti regimi della materia adronica.

In ref.(18) si considera la possibilità che la transizione di deconfinamento e la restaurazione della simmetria chirale non coincidano, come invece avviene a grandi temperature e densità barionica nulla. Come conseguenza, a basse temperature ed alte densità, tra lo stato di materia nucleare (quark confinati) e la fase di plasma di quark a massa nulla, potrebbe esistere una fase intermedia di quark “costituenti” dotati di massa. Vengono discusse le proprietà di questa nuova fase e la sua relazione con la fase “quarkyonica” recentemente proposta da Mc Lerran et al.

## A3) Modelli a quasi-particella

E' ormai chiaro che per temperature superiori ma prossime alla temperatura critica di deconfinamento,  $T_c$ , lo stato di QCD non è un plasma di quarks e gluoni debolmente interagenti ma uno stato con gradi di libertà ad interazione forte. Per comprendere la natura della transizione di deconfinamento e la natura dei gradi di libertà per  $T > T_c$  è necessario utilizzare tecniche non perturbative.

Un possibile strumento di analisi, il modello a quasi-particelle, assume che gli effetti rilevanti dell'interazione possano essere descritti tramite una massa effettiva  $m(T)$ , dipendente dalla temperatura, trascurando ogni altra interazione residua. La forma di  $m(T)$  è ottenuta dal fit dei dati sulle quantità termodinamiche ottenuti dalle simulazioni sul reticolo di QCD a  $T$  finita.

In (27,28) si è studiata l'equazione di stato di QCD (a densità barionica nulla) nel range di temperature  $T = 1-2 T_c$ , con il modello a quasi-particella assumendo che i gradi di libertà rilevanti fossero quarks, gluoni e coppie quark-antiquark, cioè mesoni che “sopravvivono” oltre  $T_c$ . Si è trovato che le masse effettive deriscono con la temperatura e che sino ad una temperatura di circa  $1.5 T_c$  coppie quark-antiquark, corrispondenti al nonetto mesonico, contribuiscono sostanzialmente all'equazione di stato di QCD. A  $T = 2 T_c$  il loro contributo scompare.

Un tipico risultato di tutti i modelli a quasi-particella è che la massa effettiva al punto di transizione, cioè  $m(T_c)$ , è abbastanza grande, tipicamente  $> 1$  GeV.

In ref. (16) questo aspetto è stato direttamente connesso, per teorie di puro gauge, SU(3), all'andamento di  $m(T)$  determinato dal comportamento critico della densità d'energia e della screening length nel mezzo: la massa effettiva del quasi-gluone nella regione di accoppiamento forte rappresenta l'energia contenuta in un volume il cui raggio è definito dal range di correlazione. In ref.(13) il risultato è stato esteso alle teorie SU(N) studiando la dipendenza dal numero di colori

dei parametri fisici e della velocità del suono e confrontando i risultati ottenuti con i dati su reticolo, che mostrano un peculiare scaling in  $N$  della cosiddetta “interaction measure”.

In ref.(19) si è calcolata la velocità del suono in un gas di risonanze mostrando sotto quali condizioni dello spettro di risonanze si ottiene che la velocità del suono va da zero ad un limite finito ( come osservato sul reticolo) alla temperatura critica.

Infine , in ref.(9,10) i dati sul lattice ( teorie di gauge puro) sulla termodinamica della fase deconfinata di  $SU(3)$  sono stati interpretati sulla base di un modello di quasi-gluoni che si propagano nel background del Polyakov loop. Viene introdotto un potenziale effettivo per il Polyakov loop ispirato dall'espansione strong coupling dell'azione di QCD ed il Polyakov loop viene accoppiato con i quasi-gluoni trasversi. Risulta che la parte dominante la dinamica della transizione è proprio la dinamica del Polyakov loop e le grandezze termodinamiche possono essere descritte senza masse effettive dei quasi-gluoni che diventano grandi alla temperatura di transizione.

#### A4) Modelli effettivi ed applicazioni alle stelle di neutroni

Gli effetti di densità e temperatura finita per la ristorazione della simmetria chirale sono stati analizzati , ref.(48), tramite le equazioni del gruppo di rinormalizzazione esatto applicate a teorie con fermioni autointeragenti e confrontate con i risultati della teoria sul reticolo.

I recenti dati di RHIC sui flussi d'energia nelle collisioni tra ioni pesanti ed i recenti risultati di QCD su reticolo, che mostrano la persistenza di stati legati ben al di sopra della temperatura critica di deconfinamento, suggeriscono che anche in QCD potrebbe aver luogo il fenomeno della pseudogap tipico dei superconduttori ad alta temperatura. Infatti, e' stato mostrato (ref.36) che nel modello di Nambu-Jona Lasinio non esiste una sola temperatura critica ma due temperature : una associata al ripristino della simmetria chirale ( che in QCD corrisponde a quella di deconfinamento) ed una associata con il disaccoppiamento delle coppie quark-antiquark dallo spettro. Ciò è possibile solo in un regime di strong coupling, peraltro richiesto per spiegare i dati di RHIC.

Le caratteristiche della QCD ad alta densità barionica hanno delle immediate conseguenze fenomenologiche per le stelle di neutroni dove, al centro della stella, si possono raggiungere densità pari a circa 10 volte la densità nucleare standard e quindi può essere presente una fase a quark. Attualmente, purtroppo, lo studio della QCD sul reticolo si può spingere solo a piccoli valori della densità e quindi ad alte densità si utilizzano modelli effettivi, come il modello di Nambu – Jona Lasinio (NJL) o il MIT BAG model. Il primo non contiene quarks confinati mentre nel secondo il confinamento è cruciale. In ref. (31) si è visto che l'equazione di stato della materia a quark nel modello NJL rende la stella di neutroni (NS) instabile e quindi nessuna fase a quark potrebbe essere presente all'interno di una NS. L'instabilità permane anche migliorando il modello NJL con un cut-off dipendente dalla densità . Solo considerando un modello con il confinamento ( cioè introducendo la pressione di BAG) si ha una NS stabile.

Quindi si sono considerati altri modelli che tengono esplicitamente conto del confinamento, verificandone l'effetto sulla stabilità delle NS ( 22).

## **B) Analisi di proprietà caratteristiche delle teorie di campo non commutative e di possibili effetti fenomenologici ad esse correlati.**

Le teorie di campo non commutative emergono come conseguenza della teoria delle stringhe e della gravità quantistica.

Indipendentemente dall'origine dinamica, sono stati studiati alcuni aspetti delle teorie di campo in cui le coordinate spazio-temporali non commutano e/o i quadrimomenti non commutano, con particolare attenzione a possibili implicazioni fenomenologiche, cioè ai valori dei parametri che regolano la non-commutatività permessi dai dati sperimentali esistenti. Si tratta di limiti stringenti.

### B1) Vincoli fenomenologici sui valori dei parametri di non-commutatività

In ref.(39) si sono studiati gli effetti quanto-meccanici della non commutatività nello spazio delle configurazioni e nello spazio dei momenti. In particolare si è analizzato il problema di un "gravitational quantum well" in due dimensioni e sono stati utilizzati i dati sperimentali per i due livelli energetici più bassi di neutroni nel campo gravitazionale terrestre per stabilire un limite superiore sulla scala di impulsi introdotta dalla non commutatività.

### B2) Elettrodinamica non commutativa

In particolare è stata analizzata la radiazione di sincrotrone e la radiazione Cherenkov per l'elettrodinamica classica non commutativa (45,41).

La non commutatività causa un effetto efficace di anisotropia corrispondente ad una relazione di dispersione modificata per le onde piane elettromagnetiche, che possono avere velocità di propagazione maggiori di  $c$ , con conseguenti effetti di violazione dell'invarianza di Lorentz.(46)

Dal punto di vista fenomenologico per la radiazione di sincrotrone sono state evidenziate modifiche allo spettro di emissione con un fattore cinematico che amplifica di parecchi ordini di grandezza gli effetti non commutativi.

Anche nel caso della radiazione Cherenkov vi sono in linea di principio effetti di violazione della invarianza di Lorentz dato che per particolari condizioni cinematiche della particella sorgente (velocità molto prossima a  $c$ ) è possibile la produzione di radiazione anche nel vuoto (in assenza di mezzo).

Tuttavia, a causa del piccolissimo range di valori del modulo del parametro di non commutatività ( $\theta$ ) permesso dall'attuale stringente limite fenomenologico, la possibilità di osservare effetti di modifica dello spettro di sincrotrone o della radiazione Cherenkov è estremamente bassa. In particolare

si è investigata la possibilità di evidenziare tali effetti in ambito astrofisico tramite i raggi gamma di altissime energie (quali i gamma da 50 TeV osservati dalla Crab nebula) senza tuttavia ottenere un nuovo limite per  $\theta$ . Probabilmente solo la propagazione di radiazione in campi magnetici intensi quali quelli prodotti da stelle compatte potrebbe fornire un nuovo limite.

### B3) Teorie di campo non commutative con cut-off

E' stato poi analizzato un differente aspetto delle teorie non commutative, cioè lo studio dello stato fondamentale di teorie di campo non commutative in presenza di cut-off ultravioletto.

A causa del regolatore ultravioletto tali teorie possono essere considerate come teorie efficaci con un range di validità limitato, tuttavia la presenza del cut-off permette di eliminare i seri problemi delle teorie non commutative legati a nuove divergenze (sin

dal primo ordine nello sviluppo perturbativo) connesse alla ineliminabile correlazione tra i regimi ultravioletto e infrarosso.

Facendo uso del formalismo dell'azione efficace per operatori composti in approssimazione di Hartree-Fock è stato mostrato per teorie scalari non commutative auto-interagenti che non è possibile una transizione dalla fase simmetrica a una fase con valore di aspettazione costante del campo, mentre la fase a simmetria rotta corrisponde ad un campo di background non uniforme ed anche il gap di massa presenta un'anisotropia spaziale (47).

La stessa analisi è stata estesa al modello fermionico di Gross-Neveu per uno spazio-tempo quadridimensionale non commutativo, trovando che la rottura di simmetria chirale corrisponde ad un parametro d'ordine non uniforme analogamente alla fase di Larkin, Ovchinnikov, Fulde, Ferrer in materia condensata (44).

Ciò ha inoltre suggerito che una fase non omogenea del condensato potrebbe essere presente per sistemi fermionici intrappolati se si considerano due tipi di fermioni con potenziali chimici diversi (38).

Più in generale, la relazione tra rottura di simmetria in teorie non commutative con cut-off e transizione a fasi non omogenee è stata approfondita suggerendo che la dinamica non-commutativa può fornire una descrizione efficace delle interazioni e dei meccanismi che inducono transizioni a fasi con background non uniformi e con spettri contenenti eccitazioni di tipo rotonico (37).

## **C) Fenomenologia degli effetti nucleari nelle collisioni relativistiche tra ioni pesanti**

### C1) Modello partonico dell'effetto di shadowing (62)

Il DIS su targhette nucleari ha mostrato notevoli differenze rispetto al caso del nucleone libero, sia a piccoli  $x$  (effetto shadowing) sia a grandi  $x$  (effetto EMC).

Nel 1988, durante il soggiorno al CERN, è stato proposto il primo modello di shadowing a livello partonico nel quale la differenza in elettroproduzione tra le funzioni di struttura dei nucleoni nei nuclei e quelle dei nucleoni liberi è spiegata a livello di quarks tramite un diverso accoppiamento del pomerone ai quarks nei nuclei rispetto al caso libero, dovuto all'overlap dei nucleoni nel nucleo.

### C2) Effetto di Shadowing nelle collisioni relativistiche tra ioni pesanti

Se lo shadowing è un fenomeno a livello partonico esso deve essere presente in tutti i processi anelastici di alta energia che coinvolgono nuclei.

L'analisi non solo conferma la presenza degli effetti di shadowing nella produzione di coppie di muoni nell'urto protone-platino a 400 GeV/c, ma permette di comprendere alcune "anomalie" dei dati sperimentali. Più esattamente, solo tenendo conto delle modifiche delle funzioni di struttura nei nuclei, il fattore di rescaling della formula di Drell-Yan (per la produzione di coppie di leptoni) ottenuto nell'urto protone-protone è in accordo con quello dell'urto protone-nucleo (50,58).

Inoltre sono stati rianalizzati i dati sulla funzione di struttura del pione generalmente ottenuta da scattering su targhetta nucleare, dove, sorprendentemente, gli effetti di shadowing ed EMC non erano stati presi in considerazione (57).

Le modifiche delle funzioni di struttura nucleari hanno inoltre un ruolo fondamentale per comprendere i segnali sperimentali della formazione del quark gluon plasma (QGP) o, più in generale, della transizione ad una nuova fase della materia adronica nell'urto tra ioni pesanti a RHIC e, nel futuro, ad LHC. Ad esempio è stato valutato che una parte della soppressione della  $J/\psi$ , cioè uno dei tipici segnali di formazione di QGP, può essere dovuta alla modifica delle distribuzioni di gluoni nei nuclei (58). Inoltre una parte degli effetti che si osservano passando da collisioni

periferiche a collisioni centrali è spiegabile osservando che gli effetti nucleari sulle distribuzioni di quarks sono più deboli per i nucleoni periferici rispetto a quelli più fortemente legati (52). Oggi questo effetto viene denominato local shadowing.

La comprensione delle modifiche nucleari delle funzioni di struttura è quindi determinante per le conclusioni da trarre dai risultati sperimentali dei prossimi anni ad LHC.

### C3) Effetti di Higher Twist a piccolo $x$ (49)

La fisica “hard probes” di LHC sarà concentrata nella regione cinematica nella quale la variabile di scaling  $x$ , è molto piccola. Per questa ragione lo studio delle funzioni di struttura a piccolo  $x$  è determinante sia per i nucleoni liberi sia per le targhette nucleari. Tuttavia la maggior parte dei dati attualmente disponibili in questa regione cinematica sono concentrati anche a piccoli  $Q^2$ , dove le correzioni di tipo potenza, cioè gli HT, possono essere rilevanti.

Per questo motivo, cogliendo l'occasione di alcuni dati della collaborazione HERMES ( successivamente totalmente modificati) sulla funzione di struttura longitudinale, si è analizzato se gli effetti nucleari siano interamente dovuti ad HT. La conclusione è che una parte consistente degli effetti potrebbe essere così spiegata e quindi l'estrapolazione delle attuali informazioni fenomenologiche a regioni di piccolo  $x$  ma più grandi  $Q^2$ , di interesse per i futuri esperimenti, deve essere effettuata con cautela, cioè tenendo sotto controllo le correzioni di tipo potenza.

## **D) Problemi non perturbativi in QCD, proprietà esatte del potenziale efficace, rottura di simmetria e transizioni di fase in teorie quantistiche di campo;**

### D1) Rottura della simmetria chirale in QCD

È stato studiato il problema della rottura della simmetria chirale in QCD con il metodo del potenziale efficace per operatori composti, introdotto da Cornwall-Jackiw e Tomboulis (CJT), a due loop (67).

Lo studio della suddetta transizione di fase richiede l'applicazione di tale tecnica funzionale in maniera non-perturbativa. Si è quindi utilizzata una procedura variazionale ed auto-consistente e sono comunque stati inseriti nel calcolo anche le correzioni perturbative alla massa dinamicamente generata ed alla costante d'accoppiamento running nelle regioni di grande impulso, presenti nel calcolo dei loop.

Il risultato, abbastanza citato in letteratura, è che in QCD la simmetria chirale è rotta se la costante d'accoppiamento nella regione infrarossa ( individuata da un cut-off) è maggiore di un valore critico e quindi se si raggiunge un regime di strong coupling.

Peraltro, la presenza di una costante d'accoppiamento critica emerge in maniera naturale anche nell'analisi di stabilità delle soluzioni al problema di Coulomb in meccanica quantistica relativistica a massa nulla (70).

Il precedente metodo CJT è stata generalizzato a temperatura finita, mostrando, per la prima volta tramite tecniche variazionali, che la simmetria chirale è ripristinata al di sopra di una temperatura critica (65).

Si è inoltre studiata la relazione tra confinamento e rottura della simmetria chirale. Considerando una teoria di gauge con propagatore confinante nell'infrarosso, le equazioni di Schwinger-Dyson della teoria risultano auto-consistenti solo se la simmetria chirale è rotta (63,67).

### D2) Proprietà esatte dell'Effective potential

Per teorie di campo scalare self-interagenti il calcolo auto-consistente del potenziale efficace di CJT all'ordine più basso nella costante d'accoppiamento corrisponde esattamente alla minimizzazione dell'hamiltoniana del sistema su uno stato variazionale che è un funzionale gaussiano.

Ciò rende particolarmente utile tale tecnica per discutere la rottura spontanea della simmetria nella cosiddetta approssimazione GEP ( gaussian effective potential).

In particolare, utilizzando uno spazio funzionale ottenuto dalla sovrapposizione di due stati gaussiani, è stato ricavato un potenziale efficace che riproduce una proprietà del potenziale efficace esatto: la convessità (54).

Il potenziale efficace risultante ha minimo assoluto degenere (potenziale piatto) nel limite di volume infinito. La convessità viene dunque ritrovata mediante un semplice ampliamento dello spazio variazionale. E' stato inoltre proposto un criterio, basato sul confronto delle densità di probabilità relative alle configurazioni di campo corrispondenti ai minimi degeneri, per evidenziare la rottura spontanea della simmetria in presenza di uno stato fondamentale degenere. Per la semplicità dell'argomento, che mostra una caratteristica esatta della teoria di campo, il lavoro è citato nel libro di testo di S. Weinberg ( The Quantum Theory of Fields, vol. II, pag. 79).

### D3) Studio della rottura spontanea della simmetria(51,53,56,74)

L'approssimazione GEP è stata estensivamente applicata nello studio della rottura spontanea della simmetria.

Inizialmente, considerando una teoria di campo scalare  $\lambda\phi^4$ , in 4 dimensioni, è stata mostrata l'instabilità del vuoto della teoria a massa nulla.

Quindi si è evidenziata la completa equivalenza tra tecnica funzionale nell'approssimazione gaussiana e formalismo di seconda quantizzazione e si è mostrato il contenuto "many body" dello stato fondamentale che rompe la simmetria. Esso risulta analogo al modello dell'"hard sphere Bose gas," utilizzato per studiare la condensazione di bosoni. Sono stati confrontati il calcolo variazionale gaussiano e l'espansione perturbativa a one-loop del potenziale efficace per teorie scalari  $\lambda\phi^4$ , in quattro dimensioni, e ne è stata studiata la rinormalizzazione nel regime di Coleman-Weinberg.

L'analisi prende spunto dal fatto che entrambe le suddette approssimazioni, regolarizzate mediante un cutoff ultravioletto  $\Lambda$ , presentano rottura spontanea di simmetria con conseguente generazione di massa per le eccitazioni elementari del campo ed è possibile trovare la stessa forma di potenziale efficace rinormalizzato in entrambi i casi. Mentre la procedura di rinormalizzazione perturbativa è ben nota, la rinormalizzazione del potenziale gaussiano è più delicata.

In particolare, tramite il requisito fisico che la massa generata,  $m^2 = \lambda v^2$  (dove  $v$  è il valore di aspettazione del campo), sia una quantità fisica finita, indipendente dal cut-off, si induce una rinormalizzazione, differente dall'usuale rinormalizzazione perturbativa, in cui nel limite del continuo (cioè mandando il cut-off ultravioletto all'infinito) la costante di accoppiamento al cut-off,  $\lambda(\Lambda)$ , tende a zero e conseguentemente il valore di aspettazione del campo diverge.

Secondo tale schema, approfondito e sviluppato successivamente da altri autori (M.Consoli, U. Ritschel, P. Stevenson...), tutti gli effetti di interazione si manifestano solo nel modo a impulso zero, mentre le eccitazioni massive sul vuoto non simmetrico risultano effettivamente non interagenti nel limite del continuo, in accordo con una rappresentazione di teoria 'triviale' in cui tutti i vertici irriducibili sono nulli ad eccezione del valore di aspettazione del campo e della funzione di due punti associata alla massa fisica delle particelle.

Conseguenza di tale analisi è che la massa del campo scalare non rappresenta una misura delle interazioni osservabili. Ovvero non vale la relazione di

proporzionalità tra la massa e la costante di accoppiamento rinormalizzate.

Questo approccio non convenzionale, attualmente studiato da vari autori tramite simulazione della teoria sul reticolo, ha interessanti conseguenze fenomenologiche. Ad esempio la massa dell'Higgs risulta più pesante dei limiti ottenuti tramite l'usuale rinormalizzazione perturbativa.

E' stata studiata la generalizzazione a temperatura finita del potenziale gaussiano ed il ripristino della simmetria al di sopra di una temperatura critica.

Inoltre, migliorare l'approssimazione gaussiana in teorie di campo è abbastanza difficile mentre costituisce un utile esercizio in meccanica quantistica ordinaria.

E' stata proposto un ansatz non gaussiano per la funzione d'onda dell'oscillatore anarmonico che riproduce gli autovalori esatti entro una parte su  $10^5$ , in un largo range di valori dell'accoppiamento anarmonico.

#### D4) Studio della struttura del vuoto in QCD (64,63,61,60)

Una tecnica standard per studiare effetti non perturbativi in una teoria di gauge non abeliana pura è quella del campo di background. In questo modo si può tentare di avere indicazioni sulla condensazione di gluoni, cruciale per comprendere il confinamento, e sulla stabilizzazione dello stato fondamentale della teoria.

Il problema può essere affrontato in vari modi.

Si è considerato il caso di un campo cromomagnetico di background che possiede modi (di Nielsen-Olesen) instabili e di stabilizzare la fase tramite l'auto-interazione dei gluoni.

Per cercare di tenere sotto controllo gli effetti infrarossi, si sono utilizzate tecniche generali di gruppo di rinormalizzazione in un volume finito (applicate al potenziale efficace).

Inoltre è stata analizzata la connessione tra potenziale efficace ed anomalia di traccia: considerando la relazione tra la lagrangiana efficace,

$L(\text{eff})$ , ed il tensore energia impulso è possibile ottenere un'equazione differenziale per  $L(\text{eff})$ , imponendo la corretta anomalia di traccia. La soluzione da una  $L(\text{eff})$  i cui termini logaritmici sono univocamente fissati dall'usuale gruppo di rinormalizzazione perturbativo e viene inoltre generato un termine classico proporzionale al quadrato del campo esterno. Se la costante di proporzionalità è di ordine  $g^2$  ( $g$  è la costante d'accoppiamento) si ritrovano i risultati standard, mentre se essa è di  $O(1)$  si rompe l'invarianza per il gruppo di rinormalizzazione.

#### **E) Studio di alcuni problemi legati alla fenomenologia del Modello Standard delle interazioni elettrodeboli e forti;**

##### E1) Effetti di higher twist nella determinazione dell'angolo di Weinberg(68,69)

Le misure di precisione hanno richiesto un'approfondita analisi teorica

sui parametri del modello standard. Sono stati studiati gli effetti di

“higher twist” (HT), cioè di correzioni di tipo potenza allo scaling, sulla determinazione dell'angolo di Weinberg da processi di leptoprodotto ad energia più bassa, dove tali effetti sono più rilevanti.

E' stato mostrato che l'indeterminazione su  $\sin^2(\theta)$  dovuta agli HT in QCD

è circa 1% se si utilizzano i dati di deep inelastic scattering (DIS) neutrino adrone e di circa 0.5% se si considera l'asimmetria nell'urto elettrone polarizzato deuterio.

##### E2) Analisi dei dati sul rapporto $R$ tra 22 e 62 GeV (55)

E' stata effettuata un'analisi dettagliata dei dati sul rapporto , R, tra le sezioni d'urto (e+e- in adroni)/ (e+e- in mu+ mu-) nel range di energia del centro di massa tra 22 e 62 GeV, ottenuti a PEP-PETRA e TRISTAN.

Lo scopo dell'analisi era di studiare lo scaling della costante di accoppiamento forte e di ottenere una determinazione del parametro di scala  $\Lambda_{\text{QCD}}$  per poi confrontarlo con le determinazioni ottenute, ad energie più alte, dalle quattro Collaborazioni del LEP dal 1989 al 1991.

Nonostante il range di energia considerato e l'introduzione di tutti gli effetti noti di correzioni radiative elettrodeboli, i dati complessivamente non fornivano una chiara indicazione del running di  $\alpha_s$  ed inoltre la determinazione del parametro di scala di QCD,  $\Lambda(\text{MS})$ , ottenuta dal fit per l'intero range 5-94 GeV, risultava più alta rispetto alle determinazioni ricavate dal decadimento dello Upsilon e dal deep inelastic scattering.

Successivamente, la statistica dei dati di LEP dopo il 1991 è stata sostanzialmente migliorata, con conseguente variazione dei dati e riduzione degli errori, e dunque la suddetta analisi non è adeguatamente aggiornata, anche se la parte di analisi riguardante i dati da 22 a 62 GeV risulta tuttora valida.

### E3) Fenomenologia degli urti profondamente anelastici (85,84,83,82,80,78,77,73)

Alcuni aspetti della fenomenologia degli urti profondamente anelastici (DIS) sono stati analizzati nel modello proposto da G. Preparata, il Massive Quark Model (MQM), le cui particolarità consistono nella possibilità di predire la dipendenza delle funzioni di struttura dalle variabili di scaling, x, e nelle violazioni di scaling di tipo potenza.

La parametrizzazione delle funzioni di struttura del MQM è stata confrontata con le analoghe parametrizzazioni in QCD.

Si sono studiati in dettaglio lo scattering di elettroni e neutrini su protoni e neutroni, la produzione di coppie di leptoni nell'urto protone-protone, sono state predette le funzioni di struttura dei mesoni e del fotone, nonché la struttura degli stati finali adronici corrispondenti.

## **F) Modellizzazione e studio dell'evoluzione dinamica di sistemi complessi con l'applicazione di tecniche di Fisica Teorica a settori interdisciplinari**

### F1) Modelli di crescita in Fisica ed altre Scienze (33)

Si è introdotta una classificazione generale delle leggi di crescita in Fisica e nelle altre Scienze. Ciò permette di analizzare rapidamente gli andamenti di crescita nella loro totale generalità e verificare la interconnessione tra settori diversi. Una successiva generalizzazione dei precedenti risultati è stata effettuata in collaborazione con il prof. F. Blanchard (matematico) (12).

### F2) Dinamica delle opinioni politiche (42)

La modellizzazione della dinamica d'opinione è in grande sviluppo, essendo comune a molti settori (economia, teoria dei giochi, sociologia quantitativa).

In (33) è stato proposto un modello per descrivere la dinamica di opinioni in un sistema politico bipolare utilizzando tecniche di "random matrix renormalization group". Il modello presenta elementi abbastanza realistici e costituisce un interessante progresso rispetto alle semplici proposte attualmente presenti in letteratura.



### F3) Modello di crescita e cura dei tumori

E' stato formulato un modello di crescita di sistemi tumorali (35) impiegando alcune proprietà caratteristiche della meccanica statistica e rappresentando le cellule tumorali come un sistema di molte particelle al quale viene imposta una condizione di bilancio energetico.

Tale modello fornisce una legge di crescita di tipo Gompertziano, che è la caratteristica legge di crescita fenomenologicamente ottenuta da una vasta classe di osservazioni sperimentali.

Il modello fornisce anche buone predizioni quantitative di dati sperimentali relativi a crescite tumorali "in vitro" (colture tumorali in laboratorio). al variare delle condizioni esterne di concentrazione di ossigeno, glucosio e pressione.

Il modello può essere ampliato per determinare se esistono condizioni di crescita che favoriscono l'insorgere di metastasi






In collaborazione con Harvard-MIT -MGH si è ottenuto un risultato importante: le usuali metodologie di radioterapia vanno profondamente riviste nel caso di tumori di grande massa iniziale (29). Infatti, si è pervenuti alla conclusione che, in questi casi, la radioterapia non riesce a produrre gli effetti desiderati anche utilizzando dosi molto forti e trattamenti prolungati. Si è inoltre valutato l'effetto della ricrescita tumorale nell'intervallo tra un trattamento e l'altro dei diversi protocolli.




Inoltre gli effetti di crescita e ricrescita dei tumori durante i protocolli chemioterapici è stata analizzata in dettaglio. L'applicazione più importante è al caso di tumori "instabili" (21), nei quali accade che una piccola parte della massa tumorale inizia a crescere con una velocità di duplicazione molto più grande delle restanti cellule. In questo caso, sia che l'instabilità abbia inizio prima o dopo l'inizio della chemioterapia, ci è mostrato che gli usuali protocolli sono insufficienti a garantire un adeguato grado di cura e il metodo di Simon-Norton va rivisto. Il lavoro è stato pubblicato dalla più importante rivista del settore, cioè Cancer Research.

### **LISTA DELLE PUBBLICAZIONI allegata al Curriculum**

1	2015	Castorina P, Iorio A, Satz H (2015). Hadron Freeze-Out and Unruh Radiation . INTERNATIONAL JOURNAL OF MODERN PHYSICS E, vol. 24 , 1550056, ISSN: 0218-3013
2	2015	Castorina P, Greco V, Plumari S (2015). QCD equation of state and cosmological parameters in the early universe . PHYSICAL REVIEW D, PARTICLES, FIELDS, GRAVITATION, AND COSMOLOGY, vol. 92 , 063530 , ISSN: 1550-7998
3	2014	Castorina P, Satz H (2014). Causality Constraints on Hadron Production In High Energy Collisions . INTERNATIONAL JOURNAL OF MODERN PHYSICS E, vol. 23 , 1450019 , ISSN: 0218-3013

4	2014	Castorina P, M. Ruggieri, L. Oliva, R. Gatto, V. Greco (2014). Critical Endpoint and Inverse Magnetic Catalysis for Finite Temperature and Density Quark Matter in a Magnetic Background . PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 734 , p. 255 -259, ISSN: 0370-2693
5	2014	Castorina P, Satz H (2014). Hawking-Unruh Hadronization and Strangeness Production in High Energy Collisions . ADVANCES IN HIGH ENERGY PHYSICS (ONLINE), vol. 2014, 376982 , ISSN: 1687-7365
6	2014	Castorina P, L.Agozzino, P.Colangelo (2014). Nuclear Shadowing in the Holographic Framework . PHYSICAL REVIEW LETTERS, vol. 112, p. 4-8, ISSN: 0031-9007
7	2014	Agozzino L, Castorina P, Coalngelo P (2014). Nuclear structure functions at low-x in a holographic approach. THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. 74 , 2828 , ISSN: 1434-6044
8	2013	Castorina P (2013). Holographic Bound in Quantum Field Energy Density and Cosmological Constant. JOURNAL OF MODERN PHYSICS, vol. 4, p. 807-811, ISSN: 2153-1196
9	2013	Oliva L, Castorina P, Greco V, Ruggieri M (2013). Thermodynamics of the Quark-Gluon Plasma in Terms of Quasiparticles and Polyakov Line Condensates . PHYSICAL REVIEW D, PARTICLES, FIELDS, GRAVITATION, AND COSMOLOGY, vol. 88 , 097502, ISSN: 1550-7998
10	2012	Castorina P, Ruggieri M, Alba P, Plumari S, Ratti C, Greco V (2012). Polyakov Loop and Gluon Quasiparticles in Yang-Mills Thermodynamics.. PHYSICAL REVIEW D, PARTICLES, FIELDS, GRAVITATION, AND COSMOLOGY, vol. 86 , 054007, ISSN: 1550-7998

11	2012	Castorina P, Finocchiaro M (2012). Symmetry Restoration By Acceleration. JOURNAL OF MODERN PHYSICS, vol. 3, p. 1703-1708, ISSN: 2153-1196	
12	2012	Castorina P, Blanchard P (2012). Unified approach to growth and aging in biological, technical and biotechnical systems. SPRINGERPLUS, vol. 1-7	
13	2011	Castorina P, Greco V, Jaccarino D, Zappala D (INFN) (2011). A Reanalysis of Finite Temperature SU(N) Gauge Theory. THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. 71, p. 1826-1830, ISSN: 1434-6044	
		 <a href="#">allegati</a>	
14	2011	Castorina P, Iorio A, Zappala D (2011). Noncommutativity and Lorentz Violation in Relativistic Heavy Ion Collisions . THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. 71, p. 1653-1658, ISSN: 1434-6044	
		 <a href="#">allegati</a>	
15	2011	Becattini F, Castorina P, Milov A, Satz H. (2011). Predictions of hadron abundances in pp collisions at the LHC.. JOURNAL OF PHYSICS. G, NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS, vol. 38, 025002, ISSN: 0954-3899	
		 <a href="#">allegati</a>	
16	2011	Castorina P, Miller D E, Satz H (2011). Trace Anomaly and Quasi-Particles in Finite Temperature SU(N) Gauge Theory . THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. 71, p. 1673-1677, ISSN: 1434-6044	
		 <a href="#">allegati</a>	
17	2010	F. BECATTINI, CASTORINA P, A.MILOV, H. SATZ (2010). A Comparative analysis of statistical hadron production. THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. C66, p. 377-386, ISSN: 1434-6044	
		 <a href="#">allegati</a>	

18	2010	CASTORINA P, R.V. GAVAI, H. SATZ (2010). The QCD Phase Structure at High Baryon Density. THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. C69, p. 169-178, ISSN: 1434-6044   <a href="#">allegati</a>
19	2010	CASTORINA P, J. CLEYMANS, D.E. MILLER, H. SATZ (2010). The Speed of Sound in Hadronic Matter. THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. 66, p. 207-213, ISSN: 1434-6044   <a href="#">allegati</a>
20	2009	CASTORINA P, K. REDLICH, H. SATZ (2009). The Phase Diagram of Hadronic Matter. THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. C59, p. 67-73, ISSN: 1434-6044   <a href="#">allegati</a>
21	2009	CASTORINA P, DANIELA CARCÒ, CATERINA GUIOT AND THOMAS S. DEISBOECK (2009). Tumor Growth Instability and Its Implications for Chemotherapy. CANCER RESEARCH, vol. 69, p. 8507-8515, ISSN: 0008-5472
22	2008	M. BALDO, G.F. BURGIO, CASTORINA P, S. PLUMARI, D. ZAPPALA (2008). ASTROPHYSICAL CONSTRAINTS ON THE CONFINING MODELS: THE FIELD CORRELATOR METHOD. PHYSICAL REVIEW D, PARTICLES, FIELDS, GRAVITATION, AND COSMOLOGY, vol. 78, p. 063009-1-063009-10, ISSN: 1550-7998
23	2008	CASTORINA P, M. CONSOLI, D. ZAPPALÁ (2008). An alternative heavy Higgs mass limit. JOURNAL OF PHYSICS. G, NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS, vol. 35, p. 100-105, ISSN: 0954-3899
24	2008	CASTORINA P, DARIO ZAPPALA' (2008). Spontaneous breaking of translational invariance in non-commutative lambda phi**4 theory in two dimensions. PHYSICAL REVIEW D, PARTICLES, FIELDS, GRAVITATION, AND COSMOLOGY, vol. D77, p. 027703-027708, ISSN: 1550-7998

25	2008	CASTORINA P, D. GRUMILLER, A. IORIO (2008). The Exact String Black-Hole behind the hadronic Rindler horizon?. PHYSICAL REVIEW D, PARTICLES, FIELDS, GRAVITATION, AND COSMOLOGY, vol. D77, p. 124034-124044, ISSN: 1550-7998
26	2008	F. BECATTINI, CASTORINA P, J. MANNINEN, H. SATZ (2008). The Thermal Production of Strange and Non-Strange Hadrons in e+ e- Collisions. THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. 56, p. 493-510, ISSN: 1434-6044
27	2007	CASTORINA P, MASSIMO MANNARELLI (2007). Effective degrees of freedom and gluon condensation in the high temperature deconfined phase. PHYSICAL REVIEW. C, NUCLEAR PHYSICS, vol. 75, p. 054901-054911, ISSN: 0556-2813
28	2007	CASTORINA P, M. MANNARELLI (2007). Effective degrees of freedom of the quark-gluon plasma. PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 644, p. 336-339, ISSN: 0370-2693
29	2007	CASTORINA P, T.S.DEISBOECK, P.GABRIELE, C.GUIOT (2007). Growth Laws in Cancer: Implications for Radiotherapy. RADIATION RESEARCH, vol. 168, p. 349-356, ISSN: 0033-7587
30	2007	CASTORINA P, DARIO ZAPPALA (2007). Inhomogeneous phase of a gluon plasma at finite temperature and density. EUROPHYSICS LETTERS, vol. 80, p. 22001-22008, ISSN: 0295-5075
31	2007	M. BALDO, G.F. BURGIO, CASTORINA P, S. PLUMARI, D. ZAPPALÀ (2007). Quark matter in neutron stars within the Nambu - Jona-Lasinio model and confinement. PHYSICAL REVIEW. C, NUCLEAR PHYSICS, vol. 57, p. 035804-035813, ISSN: 0556-

		2813	
32	2007	CASTORINA P, D. KHARZEEV, H. SATZ (2007). Thermal Hadronization and Hawking-Unruh Radiation in QCD. THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. 52, p. 187-201, ISSN: 1434-6044	
33	2006	CASTORINA P, C.GUIOT AND P.P. DELSANTO (2006). Phenomenological Universal Classification scheme for growth problems in Physics and other Sciences. PHYSICAL REVIEW LETTERS, vol. 96, p. 188701- 188705, ISSN: 0031-9007	
34	2006	O. BERTOLAMI, J.G. ROSA, C.M.L. DE ARAGAO, CASTORINA P, D. ZAPPALA SCALING OF VARIABLES AND THE RELATION BETWEEN NONCOMMUTATIVE PARAMETERS IN NONCOMMUTATIVE QUANTUM MECHANICS. MOD.PHYS.LETT.A- (2006). Scaling of variables and the relation between noncommutative parameters in noncommutative quantum mechanics. MODERN PHYSICS LETTERS A, vol. 21, p. 795-802, ISSN: 0217-7323	
35	2006	CASTORINA P, D. ZAPPALA' (2006). TUMOR GOMPERTZIAN GROWTH BY CELLULAR ENERGETIC BALANCE". PHYSICA. A, vol. 365, p. 473-480, ISSN: 0378-4371	
36	2005	CASTORINA P, G. NARDULLI, D. ZAPPALA (2005). NAMBU JONA-LASINIO MODEL OF BAR Q Q BOSE EINSTEIN CONDENSATION AND PSEUDOGAP PHASE. PHYSICAL REVIEW D, PARTICLES, FIELDS, GRAVITATION, AND COSMOLOGY, vol. 72, p. 076006-076012, ISSN: 1550-7998	
37	2005	CASTORINA P, G. RICCOBENE, D. ZAPPALA' (2005). NON COMMUTATIVE DYNAMICS AND ROTON-LIKE SPECTRA IN BOSONIC AND FERMIONIC CONDENSATES. PHYSICS LETTERS A, vol. 337, p.	

		463-467, ISSN: 0375-9601	
38	2005	CASTORINA P, MARCELLA GRASSO, MICAELA OERTEL, MICHAEL URBAN, DARIO ZAPPALA (2005). NON-STANDARD PAIRING IN ASYMMETRIC TRAPPED FERMI GASES. PHYSICAL REVIEW A, vol. 72, p. 025601-025608, ISSN: 1050-2947	
39	2005	O. BERTOLAMI, J.G. ROSA, C.M.L. DE ARAGAO, CASTORINA P, D. ZAPPALA (2005). NONCOMMUTATIVE GRAVITATIONAL QUANTUM WELL. PHYSICAL REVIEW D, PARTICLES, FIELDS, GRAVITATION, AND COSMOLOGY, vol. 72, p. 025010-025016, ISSN: 1550-7998	
40	2005	CASTORINA P (2005). NUCLEON CORRELATIONS AND HIGHER TWIST EFFECTS IN NUCLEAR STRUCTURE FUNCTIONS. PHYSICAL REVIEW D, PARTICLES, FIELDS, GRAVITATION, AND COSMOLOGY, vol. 72, p. 097503-097507, ISSN: 1550-7998	
41	2005	CASTORINA P, A. IORIO, D. ZAPPAL (2005). ON THE VACUUM CERENKOV RADIATION AND THE ELUSIVE EFFECTS OF LORENTZ INVARIANCE. EUROPHYSICS LETTERS, vol. 69, p. 912-917, ISSN: 0295-5075	
42	2005	FILIPPO CARUSO, CASTORINA P (2005). Opinion dynamics and decision of vote in bipolar political systems. INTERNATIONAL JOURNAL OF MODERN PHYSICS C, vol. 16, p. 1473-1487, ISSN: 0129-1831	
43	2004	BALDO M, CASTORINA P, DARIO ZAPPALÀ (2004). Gluon condensation and deconfinement critical density in nuclear matter. NUCLEAR PHYSICS. A, vol. 743, p. 3-12, ISSN: 0375-9474	
44	2004	CASTORINA P, G. RICCOBENE, D. ZAPPALA' (2004). INHOMOGENEOUS CHIRAL SYMMETRY BREAKING IN NONCOMMUTATIVE FOUR FERMION INTERACTIONS.	

		PHYSICAL REVIEW D, PARTICLES, FIELDS, GRAVITATION, AND COSMOLOGY, vol. 69, p. 105024-105030, ISSN: 1550-7998	
45	2004	CASTORINA P, ALFREDO IORIO, DARIO, ZAPPALÀ (2004). Noncommutative synchrotron. PHYSICAL REVIEW D, PARTICLES, FIELDS, GRAVITATION, AND COSMOLOGY, vol. 69, ISSN: 1550-7998	
46	2003	CASTORINA P, D. ZAPPALA' (2003). NON COMMUTATIVE ELECTRODYNAMICS AND ULTRAHIGHENERGY GAMMA RAYS. EUROPHYSICS LETTERS, vol. 64, p. 641-647, ISSN: 0295-5075	
47	2003	CASTORINA P, DARIO ZAPPALÀ (2003). Nonuniform symmetry breaking in noncommutative lambda phi**4 theory. PHYSICAL REVIEW D, vol. 68, p. 065008-065018, ISSN: 0556-2821	
48	2003	CASTORINA P, MARCO MAZZA, DARIO ZAPPALÀ (2003). Renormalization group analysis of the three-dimensional Gross-Neveu model at finite temperature and density. PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 567, p. 31-38, ISSN: 0370-2693	
49	2002	CASTORINA P (2002). Twist four corrections to the violation of the Callan-Gross relation in nuclei. PHYSICAL REVIEW D, vol. 65, ISSN: 0556-2821	
50	1993	Castorina P, Donnachie A, Harriman P N (1993). Nuclear shadowing in deep inelastic scattering and Drell-Yan production. . ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. 60, p. 135-140, ISSN: 0170-9739	
51	1992	Branchina V, Castorina P, Consoli M, Zappala D (1992). Vacuum instability as the origin of asymptotic	



		freedom.. PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 274, p. 404-408, ISSN: 0370-2693	
52	1991	Castorina P, Donnachie A (1991). The B Dependence Of Structure Functions In Nuclei. ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. 49, p. 481-484, ISSN: 0170-9739	
53	1990	Castorina P, Consoli M (1990). Asymptotic Freedom Of Massless Lambda Phi <sup>4</sup> Theories .. PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 235, p. 302-307, ISSN: 0370-2693	
54	1990	Branchina V, Castorina P, Zappala D (1990). Convexity property of the variational approximations to the effective potential. . PHYSICAL REVIEW D, vol. 41, p. 1948-1952, ISSN: 0556-2821	
55	1990	Branchina V, Castorina P, Consoli M, Zappala D (1990). Hadronic width of the Z from a global fit to e+e- → hadrons data . PHYSICAL REVIEW LETTERS, vol. 65, p. 3237-3240, ISSN: 0031-9007	
56	1990	Branchina V, Castorina P, Consoli M, Zappala D (1990). Nontriviality of spontaneously broken lambda phi <sup>4</sup> theories . PHYSICAL REVIEW D, vol. 42, p. 3587-3590, ISSN: 0556-2821	
57	1990	Castorina P, Donnachie A (1990). The Structure Function Of The Pion . ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. 45, p. 497-502, ISSN: 0170-9739	
58	1989	Castorina P, Donnachie A (1989). Nuclear Shadowing And Drell-yan Production On Heavy Nuclei. P. Castorina (Catania U. & INFN, Catania), A. Donnachie (Manchester U.). Jun 13, 1989. 16 pp. Published in	

		Z.Phys. C45 (1989) 141 . ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. 45, p. 141-145, ISSN: 0170-9739	
59	1988	Castorina P, Consoli M, Zappala D (1988). Finite Temperature Hartree-fock Approximation To Lambda Phi**4 Theory. . PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 201, p. 90-94, ISSN: 0370-2693	
60	1988	Agodi A, Castorina P, Consoli M (1988). Renormalization Group And Gluon Condensation. . PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 210, p. 215-218, ISSN: 0370-2693	
61	1988	Agodi A, Castorina P, Consoli M (1988). Renormalization Group Equations And The Continuum Limit Of Some Renormalizable Quantum Field Theories. . PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 202, p. 127-130, ISSN: 0370-2693	
62	1988	Castorina P, Donnachie A (1988). Shadowing In Deep Inelastic Scattering From A Parton Viewpoint. . PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 215, p. 589-593, ISSN: 0370-2693	
63	1988	Castorina P, Consoli M (1988). The Strong Coupling Beta Function Of Yang-mills Theories And The Nielsen-olesen Unstable Modes.. PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 213, p. 493-496, ISSN: 0370-2693	
64	1987	Castorina P, Consoli M (1987). Nonperturbative Effects In The Response Of A Yang-mills System To A Strong Background Field. PHYSICAL REVIEW D, vol. 35, p. 3249-3253, ISSN: 0556-2821	
65	1986	Castorina P (1986). Variational Approach To Chiral Symmetry Restoration. . NUOVO CIMENTO DELLA	

		SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA. A, NUCLEI, PARTICLES AND FIELDS, vol. 93, p. 125-134, ISSN: 1124-1861	
66	1985	Bordi F, Castorina P, Johnson K (1985). ANOMALOUS p anti-p COLLIDER EVENTS: A SIGNATURE OF A NEW STRONG INTERACTION. . NUCLEAR PHYSICS. B, vol. 249, p. 189-197, ISSN: 0550-3213	
67	1985	Castorina P, So Young Pi (1985). QCD Chiral Symmetry Breaking In A Rayleigh-Ritz Variational Calculation. . PHYSICAL REVIEW D, vol. 31, p. 411-426, ISSN: 0556-2821	
68	1985	Castorina P, Mulders P J (1985). Twist Four Corrections To Asymmetry In Polarized Electron Deuteron Scattering. . PHYSICAL REVIEW D, vol. 31, p. 2760-2764, ISSN: 0556-2821	
69	1985	Castorina P, Mulders P J (1985). Twist Four Corrections To Charged And Neutral Current Neutrino Scattering. . PHYSICAL REVIEW D, vol. 31, p. 2753-2763, ISSN: 0556-2821	
70	1984	Castorina P, Cea P, Nardulli G, Paiano G (1984). Partial Wave Analysis Of A Relativistic Coulomb Problem . PHYSICAL REVIEW D, vol. 29, p. 2660-2668, ISSN: 0556-2821	
71	1984	Castorina P, Ciancitto A, Consoli M (1984). Particle Condensates In Quantum Field Theory. . NUOVO CIMENTO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA. A, NUCLEI, PARTICLES AND FIELDS, vol. 82, p. 275-291, ISSN: 1124-1861	
72	1984	Cea P, Castorina P (1984). Quark Confinement And Chiral Symmetry Breaking . NUOVO CIMENTO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA. A, NUCLEI, PARTICLES	

		AND FIELDS, vol. 81, p. 567-579, ISSN: 1124-1861	
73	1983	Castorina P, Merola L, Visco F (1983). Fire String Model For The Large Transverse Momentum Production Of Lepton Pairs In Proton Proton Collisions. PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 124, p. 117-121, ISSN: 0370-2693	
74	1983	Castorina P, Consoli M (1983). Vacuum Instability In Massless Lambda Phi**4 Theory . PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 131, p. 351-356, ISSN: 0370-2693	
75	1982	Castorina P, Cea P, Colangelo P, Nardulli G, Preparata G (1982). Chirality And Its Breaking In A New Theory Of Hadrons . PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 115, p. 487-491, ISSN: 0370-2693	
76	1982	Castorina P, Cea P (1982). The Role Of Chirality In Demarcating Confinement From Liberation . PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 112, p. 151-155, ISSN: 0370-2693	
77	1981	Castorina P, Nardulli G, Preparata G (1981). Are QCD Scaling Violations In Deep Inelastic Lepton Hadron Scattering Really Observed? . PHYSICAL REVIEW LETTERS, vol. 47, p. 468-472, ISSN: 0031-9007	
78	1981	Castorina P, Nardulli G, Preparata G (1981). Deep Inelastic Scattering On A Photon Target In The Massive Quark Model. ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK. C, PARTICLES AND FIELDS, vol. 8, p. 277-284, ISSN: 0170-9739	
79	1981	Angelini L, Castorina P, G. Nardulli G (1981). Final State Enhancement Factor In Z0, W+- Production Due To Quark Confinement. LETTERE AL NUOVO CIMENTO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA, vol.	

		30, p. 379-382, ISSN: 0375-930X	
80	1981	Castorina P, G. Nardulli G Preparata G (1981). Massive Lepton Pair Production In Hadron - Hadron Collisions . NUCLEAR PHYSICS. B, vol. 181, p. 208-218, ISSN: 0550-3213	
81	1981	Angelini L, Castorina P (1981). QGD ANALYSIS OF K0 PRODUCTION IN e+ e- ANNIHILATION . LETTERE AL NUOVO CIMENTO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA, vol. 30, p. 451-454, ISSN: 0375-930X	
82	1981	Castorina P, Nardulli G, Preparata G (1981). Scaling And Its Violations In Deep Inelastic Phenomena . LA RIVISTA DEL NUOVO CIMENTO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA, vol. 4N10, p. 1-30, ISSN: 0393-697X	
83	1980	Castorina P, Nardulli G, Preparata G (1980). A Realistic Description Of Deep Inelastic Structure Functions. . NUCLEAR PHYSICS. B, vol. 163, p. 333-343, ISSN: 0550-3213	
84	1980	Castorina P, Nardulli G Preparata G (1980). On The Deep Inelastic Structure Functions Of Pi's And K's . PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 93, p. 291-297, ISSN: 0370-2693	
85	1980	Castorina P, Nardulli G, Preparata G (1980). Understanding Deep Inelastic Scattering Data . PHYSICS LETTERS. SECTION B, vol. 90, p. 301-305, ISSN: 0370-2693	
86	1978	Castorina P, Recami E (1978). Hadrons as Compounds of Bradyons and Tachyons . LETTERE AL NUOVO CIMENTO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA, vol. 22, p. 195-198, ISSN: 0375-930X	
87	1976	Recami E, Castorina P (1976). On Quark Confinement: Hadrons as Strong Black Holes .	

		LETTERE AL NUOVO CIMENTO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA, vol. 15, p. 347-351, ISSN: 0375-930X	
<b>N°</b>	<b>Anno</b>	<b>Contributo in Atti di convegno</b>	
88	2016	Castorina P (2016). Freeze-out, Hadronization and Statistical Model . In: Strangeness in Quark Matter 2015. JOURNAL OF PHYSICS. CONFERENCE SERIES, vol. 668 , 012002 , David Alvarez-Castillo J ; David Blaschke; Vladimir Kekelidze , Victor Matveev , Alexander Sorin , ISSN: 1742-6596, doi: 0.1088/1742-6596/668/1/012002	
89	2015	Castorina P (2015). Hadron freeze out and Unruh radiation . In: CPOD 2014. POS PROCEEDINGS OF SCIENCE, vol. PoS(CPOD2014), 007, Bielefeld:F.Karsch, ISSN: 1824-8039, bielefeld, 17-21 NOVembre 2014	
90	2015	Castorina P (2015). Hawking-Unruh hadronization and strangeness production in high energy collisions . In: (a cura di): Badalà,A, Resonance Workshop. vol. EPJ Web Conf. , 00009, Catania, 3-7 Novembre 2014, doi: 10.1051/epjconf/20159700009	
91	2012	Castorina P, M. Ruggieri, P, Alba, S. Plumari, C. Ratti, V. Greco (2012). Quasiparticles and Z(N)– lines in Hot Yang-Mills theories. In: P.Colangelo. Proceedings, 6th International Workshop on Quantum Chromodynamics - Theory and Experiment . vol. AIP Conf.Proc.1492, p. 274-280, P.Colangelo, F. DeFazio, E. Nappi, Lecce, 18/06/2012	
92	2010	CASTORINA P, A. IORIO, D. ZAPPALA' (2010). Noncommutativity and Lorentz violation in relativistic heavy ion collisions at LHC. In: 2011. 6pp. AIP Conf.Proc.1317:60-65,2011. Martina Franca - Italy, 20-23 June 2010, vol. 1317, p. 60-65, AIP	
93	2008	G.F. BURGIO, M. BALDO, CASTORINA P, S. PLUMARI, D. ZAPPALA' (2008). Testing the Field Correlator Method with astrophysical constraints. In: Quark Confinement and the Hadron Spectrum: Confinement	

		8. Mainz, Germany, 1-6 Sep. 2008, vol. PoS CONFINEMENT8, p. 149-153, POS
94	2007	M. BALDO, G.F. BURGIO, CASTORINA P, S. PLUMARI, D. ZAPPALÀ (2007). Hybrid neutron stars within the Nambu-Jona-Lasinio model and confinement. In: proceedings of EXOCT 2007: International Symposium on Exotic States of Nuclear Matter, Catania, Italy, 11-15 Jun 2007. Catania, Italy, 11-15 June 2007, vol. 2007, p. 23-29, CATANIA:M.Baldo
95	2005	CASTORINA P, DARIO ZAPPALÀ (2005). Symmetry breaking in non-commutative cut-off field theories. In: Conference on Quark Confinement and the Hadron Spectrum, Villasimius, Sardinia, Italy, 21-25 SEpt. 2005, vol. 756, p. 460-462
96	2004	Castorina P (2004). Energetic model of tumor growth growth. In: (a cura di): Tsallis C , Rapisarda A , Beck C, COMPLEXITY, METASTABILITY AND NONEXTENSIVITY. Erice, 20-26 July 2004
97	1991	Consoli M, Branchina V, Castorina P, Zappala D (1991). Experimental constraints about the top and theoretical ideas about the Higgs. In: (a cura di): . (Catania U. & INFN, Catania). 1991. , Proceedings, Electroweak interactions and unified theories. p. 131-139, Les Arcs, 1991
98	1991	Consoli M, Branchina V, Castorina P, Zappala D Published in In *Warsaw 1991, Proceedings, Puzzles on the electroweak scale* 336-343 (1991). Nonperturbative analysis and the continuum limit in $\lambda\phi^4$ theories. . In: Proceedings, Puzzles on the electroweak scale. Warsaw, 1991, p. 336-343
99	1990	Castorina P (1990). Shadowing effect in heavy ion collisions at LHC energy. In: Proceedings, Large Hadron Collider, vol. 2, 1990. Aachen, 1990, vol. 2, p. 1186.-1194.
<b>N°</b>	<b>Anno</b>	<b>Altro</b>
100	2011	Castorina P (2011). La particella di Dio e l'origine della massa - Editori Riuniti University Press. p. 1-102

Il sottoscritto dichiara di essere informato, ai sensi del decreto legislativo 196/2003, che i dati sopra riportati verranno utilizzati nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Catania, 23 Maggio 2016

*Il dichiarante*  
Paolo Costantini