

## **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO**

selezione pubblica per n.1 posto di Ricercatore a tempo determinato con finanziamento esterno ai sensi dell'art.24, comma 3, lettera b) della Legge 240/2010 per il settore concorsuale 02/A2 - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali, settore scientifico-disciplinare FIS/02-Fisica Teorica Modelli e Metodi Matematici presso Dipartimento di Fisica Aldo Pontremoli, (avviso bando pubblicato sulla G.U. n. 15 del 20.2.2018 ) - Codice concorso 3749

## **Vito Antonelli CURRICULUM VITAE**

### **INFORMAZIONI PERSONALI**

<b>COGNOME</b>	ANTONELLI
<b>NOME</b>	VITO
<b>DATA DI NASCITA</b>	07/01/1967

### **OCCUPAZIONE ATTUALE**

<b>INCARICO</b>	<b>STRUTTURA</b>
DOCENTE DI FISICA DI SCUOLE SECONDARIE SUPERIORI Inoltre, collaboro come volontario all'attività didattica e di ricerca del Dipartimento di Fisica di Unimi	I.T.I.S. MAGISTRI CUMACINI (COMO)

### **ABILITAZIONI CONSEGUITE**

NEL GENNAIO 2014 (TORNATA CONCORSUALE) 2012 HO CONSEGUITO L'ABILITAZIONE ALLO SVOLGIMENTO DEL RUOLO DI PROFESSORE UNIVERSITARIO DI SECONDA FASCIA (ASSOCIATO) NEL SETTORE SCIENTIFICO DISCIPLINARE 02/A2 FISICA TEORICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI.

### **ISTRUZIONE E FORMAZIONE**

<b>TITOLO</b>	<b>CORSO DI STUDI</b>	<b>UNIVERSITÀ</b>	<b>ANNO CONSEGUIMENTO TITOLO</b>
LAUREA MAGISTRALE O EQUIVALENTE	LAUREA IN FISICA, VECCHIO ORDINAMENTO 110/110 E LODE	UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO	<b>1992</b> - TESI LAUREA: SU FISICA TEORICA-FENOMENOLOGICA DELLE PARTICELLE ; RELATORI: PROF. A. PULLIA (MILANO) E PROF. L.TRENTADUE (PARMA)
DOTTORATO DI RICERCA	PH. D. IN FISICA (EQUIPOLLENTE A DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA)	S.I.S.S.A. (SCUOLA INTERNAZIONALE SUPERIORE DI STUDI AVANZATI) DI TRIESTE -SETTORE PARTICELLE ELEMENTARI	<b>21/10/1996</b> - <u>ESAMI DI DOTTORATO SUPERATI TUTTI CON ILMASSIMO DEI VOTI.</u> - SOSPENSIONE DEL DOTTORATO DI 1 ANNO PER SVOLGERE IL SERVIZIO MILITARE DI LEVA - TESI DI DOTTORATO: "ASPECTS OF KAON PHYSICS IN CHIRAL PERTURBATION THEORY AND CHIRAL QUARK MODEL"; RELATORI DI TESI: DR. S.BERTOLINI E DR. M. FABBRICHESI (I.N.F.N. E S.I.S.S.A. TRIESTE).

## LINGUE STRANIERE CONOSCIUTE

LINGUE	LIVELLO DI CONOSCENZA
INGLESE	MOLTO BUONO
FRANCESE	SCOLASTICO
TEDESCO E SPAGNOLO	ALCUNE CONOSCENZE DI BASE

## PREMI, RICONOSCIMENTI E BORSE DI STUDIO

ANNO	DESCRIZIONE
DA 1/11/96 A 30/9/98	VINCITORE DI BORSA <b>POST-DOTTORATO</b> PRESSO ISTITUTO DI <b>FISICA TEORICA DELL'UNIVERSITÀ DI BERNA</b> , COL GRUPPO DEI PROFF. <b>J. GASSER</b> E <b>H. LEUTWYLER</b> (FONDATORI DI TEORIA DELLE PERTURBAZIONI CHIRALI)
DA 01/10/1998 A 04/06/2000	VINCITORE DI BORSA <b>POST-DOTTORATO BIENNALE</b> DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI <b>MILANO</b> (PROF. RESPONSABILE G. MARCHESINI)
DA 01/11/2001 A 31/10/2005	VINCITORE DI <b>ASSEGNO DI RICERCA DI 4 ANNI (2 + 2 DI RINNOVO)</b> PRESSO IL <b>DIPARTIMENTO DI FISICA</b> DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI <b>MILANO</b> (PROF. RESPONSABILE G. PROSPERI)
DA SETTEMBRE A NOVEMBRE 2001 E DA NOVEMBRE '05	<b>DOCENTE DI FISICA</b> PRESSO ITIS MAGISTRI CUMACINI DI COMO (IN SEGUITO A VINCITA NELL'ANNO <b>2000</b> DI CONCORSO ABILITANTE PER L'ISNEGNAMENTO DI FISICA NELLE SCUOLE SECONDARIE SUPERIORI: <b>PRIMO IN GRADUATORIA PER LA PROVINCIA DI COMO</b> ). STO, COMUNQUE, <b>CONTINUANDO A COLLABORARE</b> (A TEMPO PARZIALE) CON IL <b>DIPARTIMENTO DI FISICA</b> DELL'UNIVERSITÀ DI MILANO (NELL'ATTIVITÀ SIA DIDATTICA CHE DI RICERCA).
ANNO SCOLASTICO 2011/2012	Un <b>progetto da me ideato e diretto</b> su <b>“Occhialini e la camera a nebbia controllata”</b> ha vinto il <b>primo premio</b> nel <b>concorso</b> su “Scienziati tecnici e inventori dell'ottocento e novecento” indetto dal Centro per la Qualità dell'Insegnamento e Apprendimento (CQIA) <b>dell'Università di Bergamo e aperto a tutte le scuole di Lombardia.</b>

## ULTERIORE ATTIVITÀ LAVORATIVA E CONOSCENZE INFORMATICHE

ANNO	ATTIVITÀ
DA GIUGN O 2000 AD AGOST O 2001	<b>Responsabile informatico</b> (Collaboratore di elaborazione dati) <b>presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Milano</b> . Mi sono occupato prevalentemente del cluster di circa 40 PC della Sezione Teorica e dell'attività del <b>Laboratorio di Calcolo e Multimedia</b> , nell'ambito del quale ho contribuito anche a sviluppare e coordinare <b>progetti innovativi</b> (come descritto nella sezione sull'attività di ricerca). Ho anche approfondito le conoscenze sulle tecniche di gestione di reti informatiche e clusters di PC, sui protocolli di comunicazione e le problematiche di sicurezza. - Buona conoscenza di <b>linguaggi di programmazione</b> e di <b>programmi di elaborazione matematica numerica e simbolica</b> (Mathematica, Maple, etc.); - Buona conoscenza di <b>metodi Monte Carlo, reti neurali</b> e altre <b>tecniche di simulazione e analisi numerica.</b>

## ATTIVITÀ DIDATTICA A LIVELLO UNIVERSITARIO

Svolgo da **diversi anni attività didattica** (corsi di Laurea e Master) in **Italia e estero**. In dettaglio:

ANNO ACCAD-MICO	CORSO DI STUDIO/INSEGNAMENTO	STRUTTURA	ORE
1996/97	<b>ESERCITATORE CORSO “QUANTENTHEORIE I”</b> (PROF. P. HASENFRATZ)	ISTITUTO FISICA TEORICA UNIVERSITÀ BERNA	CIRCA 60-70
DAL 2002/03 AD OGGI	HO CREATO E GESTISCO INSIEME AL DR. M. AIROLDI (MEDIOBANCA) IL <u>MODULO DI “CALCOLO STOCASTICO ED ECONOFISICA”</u> (APPLICAZIONE METODI NUMERICO-COMPUTAZIONALI E MODELLI FISICO-MATEMATICI ALLO STUDIO DI PROBLEMI DI MECCANICA STATISTICA E SISTEMI COMPLESSI E DI PROBLEMI ECONOMICO-FINANZIARI), <u>DEL CORSO DI “METODI COMPUTAZIONALI DELLA FISICA”</u> (TITOLARE CORSO PROF. R. FERRARI E, NEGLI ULTIMI ANNI, DR. A. VICINI)	Dipartimento di Fisica Università degli Studi di Milano	CIRCA 20 ORE OGNI ANNO
ANNO ACCADE MICO 2015/16 2016/17 E 17/18	Ho tenuto un ciclo di lezioni sulle oscillazioni dei neutrini e lo stato attuale e prospettive future di fisica del neutrino nel <b>corso di “Astroparticelle”</b> del corso di Laurea in Fisica dell’Università degli Studi di Milano; Titolari del corso Prof. L. Miramonti e Dr. D. D’Angelo e Prof. G. Battistoni (il primo anno).	Dipartimento di Fisica Università degli Studi di Milano	CIRCA 8-10 ORE OGNI ANNO
2004/05	<b>Docente cotitolare</b> del corso di <b>“Tecniche Statistiche per l’analisi dei dati”</b> e del corso <b>“Elementi di Matematica Finanziaria e strumenti finanziari derivati”</b> nel <b>Master</b> in <b>“Metodologie e Modelli per la Finanza Quantitativa”</b> dell’Università degli Studi di Milano.	Dipartimento Fisica Università di Milano	CIRCA 20-25 ORE OGNI CORSO
2004	<b>Esercitatore</b> di Statistica nel <b>“corso integrato di Fisica e Statistica”</b> (titolari corso Prof. L. Conte e Prof.ssa A. Mira)	Corso Laurea in Scienze Motorie della Università dell’Insubria	CIRCA 15-20 ORE
DAL 2000	<b>Correlatore</b> di circa 10 <b>Tesi di Laurea su fisica teorica delle particelle elementari</b> (prevalentemente fisica del neutrino e sue implicazioni su Modello Standard e teorie Beyond the Standard Model) e <b>su applicazioni di modelli fisico-matematici a problemi economici e finanziari</b> . Quasi tutte queste tesi si sono concluse con votazioni molto buone (spesso 110 o 110 e lode) e in molti casi ho contribuito anche a proporre l’argomento di tesi su temi di attualità e con contatti anche esterni al Dipartimento.	Dipartimento di Fisica Università degli Studi di Milano	

## ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E DI RICERCA

Ho sempre svolto la mia ricerca nel campo della **fisica teorica e fenomenologica delle interazioni fondamentali e delle particelle elementari**, variando più volte i temi di cui mi sono occupato sia nella **fisica delle alte energie** (Bhabha scattering, correzioni radiative, problemi di risommazione e QCD perturbativa), **che in quella delle energie medio basse** (teorie effettive e chirali, fisica dei mesoni e fisica del neutrino). Negli ultimi anni mi sono occupato **anche di sistemi complessi** e in particolare di **econofisica e matematica finanziaria**, con uso di modelli fisico-matematici e tecniche numerico-computazionali e statistiche.

I **principali temi di ricerca** su cui ho lavorato **nell'ambito della fisica subnucleare** sono:

- 1) studio di **processi d'urto** tra particelle elementari **ad alta energia** (soprattutto nella tesi di Laurea e durante il primo post-doc a Milano);
- 2) **analisi**, con l'utilizzo di "**teorie effettive**", di processi che avvengono ad **energie medio basse**, ai fini di migliorare la conoscenza delle **interazioni nucleari deboli e forti** e di affrontare lo studio della **fisica adronica** e delle **proprietà di stati legati** (durante il Dottorato ed nel post-doc a Berna);
- 3) **analisi della fisica dei neutrini e delle sue implicazioni** sul Modello Standard e sulla costruzione di modelli al di là del Modello Standard. **Su questi temi a Milano, ho dato un contributo significativo alla creazione di un gruppo di ricerca a livello internazionale.**

L'attività riguardo a questi 3 temi è descritta qui di seguito più in dettaglio, in ordine cronologico.

Nella **tesi di laurea**, con i Prof. L. **Trentadue** (Parma) e A. **Pullia** (Milano), ho studiato le **correzioni radiative a processi d'urto** come lo scattering Bhabha, ( $e^+e^- \Rightarrow e^+e^-$ ), sia con il calcolo diretto dei **grafici di Feynmann**, sia con l'utilizzo delle **funzioni di struttura**, ed in particolare di quelle **dipendenti dal momento trasverso**, adatte a descrivere la distribuzione angolare dei fotoni. Data l'universalità delle correzioni radiative, il nostro studio è utile anche per processi diversi dal Bhabha scattering. Le funzioni di struttura dipendenti dal momento trasverso erano già state utilizzate per processi di canale s; noi abbiamo studiato in particolare l'estensione di questo approccio anche a processi di canale t. Lo studio delle **correzioni radiative** è molto importante nella fisica delle particelle elementari e, in particolare, degli acceleratori (si pensi, ad esempio, alla fisica di LEP e a quella di LHC) e mi ha permesso di **acquisire una vasta conoscenza della Teoria dei Campi e, in particolare, del Modello Standard.**

Mi sono **rioccupato del Bhabha** radiativo anche **successivamente, in collaborazione con il Prof. Kuraev**, uno dei massimi esperti del settore. In 2 lavori su Nucl. Phys. B e JETP abbiamo studiato il **Bhabha scattering a grande angolo**, che è ampiamente utilizzato per la calibrazione a colliders  $e^+e^-$  di energie moderatamente elevate (come le  $\phi$ ,  $J/\psi$ , B e  $c/\tau$  factories). Noi abbiamo calcolato la sezione d'urto per il Bhabha a grande angolo **con emissione di un "fotone duro" quasi collineare** a uno dei fermioni, includendo le correzioni radiative per l'emissione di fotoni aggiuntivi virtuali, soffici e duri nell'approssimazione dei logaritmi dominanti.

Ho ripreso a lavorare su processi d'urto ad alte energie e funzioni di struttura **a Milano, durante il post-doc con il gruppo dei Prof. Marchesini e Dokshitzer**. Ci siamo occupati di diversi aspetti di **QCD perturbativa e di interazioni adroniche ad alte energie** ed in particolare

abbiamo ottenuto, per processi di **Deep Inelastic Scattering (DIS)**, l'espressione **risommata** per le distribuzioni differenziali e le sezioni d'urto integrate rispetto alla variabile di "thrust", che descrive l'allineamento spaziale delle particelle prodotte nello scattering. L'analisi delle **distribuzioni rispetto ad "event shape variables"** come il **thrust** viene effettuata in molti esperimenti (ad esempio ad Hera), ma non era ancora disponibile nessun calcolo risommato (all'ordine next to leading) nel caso del DIS, dove l'analisi cinematica è particolarmente complicata. Noi abbiamo svolto per la prima volta questo calcolo per due varianti diverse del thrust, normalizzato in un caso rispetto a  $Q/2$  e nell'altro caso rispetto all'energia nell'emisfero corrente. **Il calcolo da noi sviluppato è stato ripreso da molti studi teorici successivi e i nostri risultati (pubblicati in due lavori, tra cui un JHEP) vengono comunemente utilizzati dai gruppi sperimentali.**

Le **competenze** acquisite in questi studi **sulle alte energie** (tra cui il calcolo diretto di contributi perturbativi di ordine elevato e il formalismo delle funzioni di struttura, sia per le interazioni deboli che per la QCD perturbativa) **potrebbero rivelarsi molto utili per l'analisi di temi di attualità, come lo studio della fisica di LHC.**

Tornando agli altri 2 temi di ricerca di fisica delle particelle indicati inizialmente, **alla SISSA e a Berna** ho lavorato prevalentemente sulle **teorie chirali e le loro applicazioni soprattutto alla fisica adronica.**

Alla **SISSA** mi sono occupato soprattutto delle applicazioni ai **mesoni K** e alla **violazione della CP** parità. In collaborazione coi **Prof. Bertolini e Fabbrichesi** (in tre lavori pubblicati su **Nuclear Physics B** e nella mia tesi di Dottorato) ho contribuito a sviluppare un modello che spiegasse alcuni dati sperimentali (come la regola di selezione  $\Delta I=1/2$ , per i decadimenti dei K in pioni) e fornisse stime relative a processi di interesse attuale, tra cui la determinazione del **rapporto  $\epsilon'/\epsilon$** , che era al centro di molti studi teorici e sperimentali. Con **teorie di campo effettive**, abbiamo ricavato la **lagrangiana chirale debole** all'ordine  $O(p^2)$  per processi con  $\Delta S=1$  e  $\Delta S=2$  e ne abbiamo **determinato per la prima volta tutti i coefficienti**, mediante il confronto col **Modello a Quark Chirale**, che permette di descrivere le interazioni tra i quarks ed i mesoni. Nel nostro modello abbiamo **riprodotto la regola di selezione  $\Delta I=1/2$**  per valori ragionevoli dei parametri di input del modello stesso, per i quali si può ottenere una **stima di  $\epsilon'/\epsilon$** , in buon accordo anche coi dati sperimentali. Abbiamo anche esteso questo formalismo a **processi con variazione di stranezza  $\Delta S=2$** , come il mixing  $K^0 - \text{anti}K^0$ , e il confronto coi dati sperimentali ci ha fornito un importante test di consistenza del modello. **In questi lavori ho contribuito in particolare al calcolo di tutti gli elementi di matrice utilizzati.**

**A Berna**, con il **Professor Gasser**, mi sono occupato principalmente dello sviluppo di un modello basato su **teorie effettive non relativistiche** per studiare le proprietà di **stati legati**, come il **pionio** (stato legato  $\pi^+\pi^-$ ) **ed altri atomi esotici adronici**, che forniscono importanti informazioni sulle **interazioni forti a basse energie**. L'esperimento **DIRAC al CERN**, dedicato allo studio di atomi esotici, ha misurato in particolare la **vita media del pionio** e da questa misura è possibile ricavare il valore del **condensato di quark**, parametro fondamentale per la **rottura spontanea della simmetria chirale**. Utilizzando un modello di prova riprodotto le caratteristiche essenziali del sistema fisico in esame, **abbiamo confermato la possibilità di estendere agli atomi adronici un approccio basato sull'uso di teorie effettive non relativistiche**, studiando in dettaglio i **problemi di fondamento teorico** legati alla loro applicazione. I nostri risultati, pubblicati su **Annals of Physics**, sono stati il punto di partenza per il calcolo dell'ampiezza di decadimento del pionio, svolto in seguito dal gruppo di Berna con

questo formalismo.

**A Berna** ho partecipato **anche ad altri due progetti di ricerca**, relativi allo studio di stati legati con diverse tecniche sia relativistiche che non relativistiche. Uno riguardava il calcolo, svolto in collaborazione con il Prof. Kuraev, di una classe di **correzioni radiative del secondo ordine all'ampiezza di decadimento dell'ortopositronio, uno stato legato  $e^+e^-$**  il cui studio richiede la conoscenza anche di tecniche come **l'equazione di Bethe-Salpeter ed analoghe tecniche relativistiche e non relativistiche**. I risultati da noi ottenuti (pubblicati su **European Physics Journal C** e in un mio articolo di review) hanno contribuito a ridurre in parte il disaccordo tra teoria ed esperimento.

L'altro progetto era, invece, un'analisi **quanto-meccanica della formula di Deser** e di formule analoghe per gli stati legati negli **atomi esotici e, in generale, in sistemi, anche di interesse per la fisica nucleare, in cui si ha interazione tra forze nucleari ed elettromagnetiche**. Abbiamo costruito un **modello** nel quale viene introdotto un **potenziale** atto a descrivere queste forze di diversa natura. Utilizzando il **formalismo dell'operatore di evoluzione**, abbiamo **risolto analiticamente un'equazione di Schroedinger** radiale per un **sistema a multicanali** e derivato delle formule che permettono di studiare, ad esempio, i **livelli energetici e le ampiezze di decadimento** per questi stati legati. La nostra tecnica può essere applicata anche ad altri sistemi la cui evoluzione sia regolata da varie forze di natura diversa. I nostri **risultati sono pubblicati su Physical Review A**.

Negli ultimi anni mi sono occupato prevalentemente di **fisica del neutrino**, settore di interesse per le **possibili verifiche del Modello Standard e dei modelli oltre il Modello Standard ed implicazioni nello studio dei problemi cosmologici ed astrofisici**. Ho contribuito significativamente a **creare a Milano un gruppo di ricerca in questo campo**, proponendo temi di attualità (come, ad esempio, l'analisi degli esperimenti **SNO** e **KamLAND**, lo studio delle prospettive per **Borexino** e per gli esperimenti **long baseline con fasci di neutrini artificiali**) analizzati con successo, contribuendo a formare diversi studenti, sviluppando collaborazioni scientifiche internazionali ed **interagendo anche con vari gruppi sperimentali e in particolare coi membri, soprattutto di Milano, di Borexino, ICARUS e JUNO**.

Su questi temi di ricerca ho collaborato **dapprima col gruppo di R. Ferrari e con E. Torrente e poi con S. Forte e G. Battistoni**. Inizialmente ci siamo occupati delle **“oscillazioni” dei neutrini**, della **determinazione della loro massa e dell'analisi di modelli teorici** che possano spiegare la **struttura di massa dei leptoni**. Abbiamo **costruito un modello e sviluppato dei codici numerici** che (utilizzando il formalismo dell'operatore di evoluzione) permettessero di descrivere la propagazione dei neutrini e la loro interazione coi rivelatori e di calcolare le loro probabilità di oscillazione (in funzione dei parametri di mixing e di massa), senza dover ricorrere alle approssimazioni semi analitiche spesso adottate in letteratura. Abbiamo così **analizzato diversi esperimenti sui neutrini solari e da reattori e sviluppato delle analisi globali** basate sull'utilizzo del metodo del  $\chi^2$  (in diverse varianti) e di altre tecniche statistiche, **estraendo i valori dei parametri di massa e mixing** compatibili con gli esperimenti. Oltre ad aver studiato le potenzialità di esperimenti come **Borexino e KamLAND** e ad aver sviluppato diverse analisi globali dei neutrini solari, **siamo stati tra i primi gruppi al mondo ad analizzare i dati di KamLAND** (sui neutrini da reattore) e delle diverse fasi dell'esperimento canadese **SNO** (sui solari), 2 esperimenti determinanti per risolvere l'annoso problema dei neutrini solari, provare che i neutrini sono particelle massive ed oscillanti e determinare sempre più accuratamente i parametri di mixing. I nostri **lavori sono stati pubblicati su diverse riviste prestigiose** (Nucl. Phys. B, Phys. Rev., JHEP, etc.) ed hanno **ottenuto diverse citazioni**, nonostante fossimo un gruppo relativamente “nuovo” nel campo.

Uno dei nostri obiettivi era lo **sviluppo di un'analisi completa dei dati della fisica dei neutrini** da diverse categorie di esperimenti e lo **studio di modelli in grado di giustificare questi dati e spiegare l'origine ed i valori delle masse**. In collaborazione col **Prof. R. Ferrari ed il suo gruppo** ho svolto uno **studio** (basato sull'uso anche di metodi Monte Carlo e dell'analisi del  $\chi^2$ ) di diversi possibili **modelli di massa per i neutrini ed i leptoni carichi**, al fine di individuare le caratteristiche essenziali (patterns) delle matrici di massa richieste dai dati sperimentali. In 2 lavori (uno dei quali su Phys. Lett. B) ci siamo concentrati sulla vasta classe di modelli con una **simmetria orizzontale non abeliana per i leptoni carichi**.

La mia **attenzione principale si è poi** focalizzata sull'**analisi, in collaborazione coi Prof. S. Forte e G. Battistoni**, di altri aspetti di **fisica dei neutrini e delle loro connessioni con la fisica delle particelle** in genere. Negli ultimi anni la **fisica del neutrino** è entrata in una **nuova fase, nella quale un ruolo essenziale è svolto da esperimenti** che utilizzano fasci di **neutrini artificiali, da acceleratori e da reattori**. Già oggi (con T2K e NOvA) e ancor più in un futuro prossimo sarà possibile disporre di una serie di **esperimenti, come i superbeams (ed eventualmente i  $\beta$  beams)**, che utilizzeranno **fasci di neutrini da acceleratori molto intensi ad energie relativamente basse**. Progettati per studiare le oscillazioni, essi potrebbero permettere anche di **effettuare misure** di alcuni **parametri del Modello Standard**, come ad esempio **l'angolo di Weinberg, ad energie medio-basse** (di pochi GeV od inferiori) per le quali le misure realizzate in passato non hanno la stessa precisione disponibile ad alte energie, grazie ai dati di colliders come il LEP. Migliorare la determinazione dei parametri a basse energie permette di **testare la stabilità della teoria su un range di energie molto vasto** e di cercare eventuali discrepanze come segnali di nuova fisica al di là del Modello Standard. **Abbiamo sviluppato un'analisi (non presente nella letteratura precedente)** di tali potenzialità, **in particolare per i cosiddetti "superbeams"**, focalizzando l'attenzione sullo studio **dello scattering quasi elastico neutrino-neucleone** (il cui risultato dipende, oltre che dall'**angolo di Weinberg**, anche dai diversi **fattori di forma adronici**). Abbiamo mostrato che è effettivamente possibile ottenere una **determinazione del valore dell'angolo di Weinberg ad energie attorno al GeV con un'incertezza dell'ordine del percento (o inferiore)**. I nostri **risultati** sono stati da me **presentati** a varie conferenze internazionali e **pubblicati** sui relativi proceedings ed in un lavoro inviato all'archivio hep-ph. Il **rivelatore ideale**, da usare leggermente off-axis come near detector, sarebbe ad **Argon liquido**. Si potrebbe anche **studiare la possibilità di applicare** la nostra analisi anche a **fasci previsti per altri esperimenti** (in fase di proposal o di realizzazione), come quelli che mirano allo studio delle oscillazioni di neutrini anomale (in neutrini sterili) mediante il **fascio del Fermilab e con l'uso sempre di rivelatori ad Argon liquido, come ICARUS**.

Negli **ultimi 3-4 anni** ho sviluppato una **stretta collaborazione anche con il gruppo milanese dell'esperimento Auger e, soprattutto, dell'esperimento JUNO, in particolare con i Prof. L. Miramonti, M. Giammarchi, E. Meroni e G. Ranucci**. Ho svolto, in collaborazione ad L. Miramonti, uno **studio approfondito** delle problematiche relative alla **fisica dei neutrini solari**, con particolare attenzione agli sviluppi degli ultimi anni, **all'impatto dei risultati** ottenuti sulla fisica delle particelle e sui modelli solari e delle **questioni aperte** in questo campo (problema della metallicità, studio della parte di più bassa energia dello spettro dei neutrini solari e delle eventuali connesse "anomalie"). Su questi temi abbiamo **pubblicato dei lavori comuni**, tra cui un'analisi approfondita che ci è stata richiesta per un volume monotematico (Special Issue) sulla fisica dei neutrini e **ho presentato seminari a diverse conferenze internazionali**. Il nostro studio prosegue con particolare attenzione anche agli **sviluppi offerte dai diversi esperimenti** progettati

in questo campo **per il prossimo futuro**.

In particolare faccio parte del gruppo di lavoro che si sta occupando delle **potenzialità e delle problematiche** legate al **futuro esperimento JUNO**, che si realizzerà in CINA e che svolgerà un ruolo molto importante nella fisica dei neutrini e, soprattutto, nello studio della gerarchia di massa di questi fermioni. Sono **membro** della collaborazione **JUNO Italia**. **Mi sono occupato in prima persona della parte di analisi delle potenzialità dell'esperimento e del confronto con esperimenti simili** della relazione che la collaborazione ha scritto per il CTS (Comitato Tecnico Scientifico) dell'INFN e sono uno dei firmatari dello **Yellow Book** dell'esperimento **JUNO**, nel quale **sono stato uno dei curatori principali del capitolo sui neutrini solari**. Sempre su questo tema, sto collaborando con altri colleghi, membri, come me, di JUNO\_Italia ad uno studio sulle potenzialità dell'esperimento che dovrebbe essere presto pubblicato. Mi sto occupando, in particolare, del problema della determinazione della gerarchia e all'analisi dei contributi che JUNO può portare allo studio dei neutrini solari ed, eventualmente, alla ricerca di "Non Standard Neutrino Interactions".

Nel corso del **2017** sono stato **scelto per rappresentare la Collaborazione JUNO alla conferenza Neutrino Telescopes a Venezia** (una delle più importanti del settore)

**Nell'ultimo periodo sto sviluppando** (in collaborazione con L. Miramonti e con un dottorando) **anche uno studio** di carattere teorico-fenomenologico su modelli che prevedono **possibili sorgenti di violazione della invarianza di Lorentz (LIV) e sulle conseguenze** che questi possibili correzioni avrebbero **sulla fenomenologia dei neutrini** ed in particolare sul fenomeno delle **oscillazioni**. Nell'approccio che abbiamo adottato i termini che possono **violare la Lorentz invarianza ad alte energie** sono introdotti in maniera naturale **a partire da "relazioni di dispersione modificate"**, a conseguenza delle quali la velocità limite per ogni particella risulta dipendente dalla sua energia. Questa idea era stata proposta per la prima volta da Coleman e Glashow e ripresa in altri lavori in letteratura. Nel nostro caso, però, abbiamo costruito i potenziali termini che violano la Lorentz invarianza in modo da **salvaguardare una struttura metrica valida** in una geometria (la **geometria di Finsler**) che è un'estensione di quella usualmente utilizzata in relatività. Questo fornisce una base teorica "solida" al nostro modello, nel quale siamo riusciti anche **a preservare le simmetrie di gauge tipiche del Modello Standard e quella di CPT**. Abbiamo costruito una sorta di "Modello Standard esteso", nel quale **la possibile presenza di LIV non modifica la forma delle interazioni, ma semplicemente determina un cambiamento di tipo cinematico** nell'evoluzione delle singole particelle. **In particolare le probabilità di oscillazione**, che regolano il fenomeno delle oscillazioni di sapore **dei neutrini, vengono potenzialmente modificate** con l'aggiunta di termini correttivi, che non modificano le caratteristiche generali delle oscillazioni, ma possono diventare non trascurabili ad alte energie.

I fondamenti "teorici" del **modello** che abbiamo sviluppato **e le sue applicazioni allo studio dettagliato della forma delle probabilità di oscillazione** (con particolare attenzione alle regioni di energie e baselines di maggior rilevanza fenomenologica) sono riportati in **un lavoro** che abbiamo sottomesso a **European Physics Journal C**, nel quale abbiamo anche confrontato i nostri risultati con i limiti sulla LIV presenti in letteratura (in particolare relativi agli studi di SuperKamiokande). Abbiamo appena ricevuto la risposta positiva della rivista con **l'indicazione del referee favorevole alla pubblicazione** e la semplice richiesta di alcune revisioni minori (che non intaccano assolutamente la sostanza del lavoro) che abbiamo praticamente già inserito in una versione che abbiamo spedito agli archivi hep-ph (ed hep-th). Dunque **l'articolo dovrebbe comparire a breve su EPJC**.

Ci stiamo **ora dedicando all'applicazione dei risultati da noi ottenuti allo studio più dettagliato** (includendo assieme alle probabilità di oscillazione anche le informazioni sui fasci di

neutrini e sulle sezioni d'urto) **di diversi casi di interesse fenomenologico**: dallo studio di neutrini atmosferici ad alte energie a JUNO e con i cosiddetti neutrino telescopes, all'analisi del caso dei "neutrini cosmici" di alta ed altissima energia, connessi anche con la "analisi a multi-messenger" di sempre maggior attualità a seguito della scoperta delle onde gravitazionali.

-----

### **Attività di studio di sistemi complessi e in campo numerico-computazionale ed informatico**

Per quanto riguarda i **sistemi complessi e l'Econofisica**, oltre ad una vasta attività didattica ed organizzativa già descritta precedentemente, ho svolto attività di ricerca centrata sull'applicazione di tecniche fisico-matematiche allo studio di questi sistemi (in particolare per problemi economico-finanziari). Mi sono avvalso della conoscenza (che ho ulteriormente approfondito) di **modelli matematici e tecniche di analisi statistica e numerica spesso utilizzati anche in fisica teorica delle particelle ed in meccanica statistica** (come i modelli di spin, le approssimazioni di campo medio, il metodo Monte Carlo e altre tecniche di simulazione numerica, l'integrale sui cammini, varie tecniche di analisi di sistemi complessi).

Mi sono occupato soprattutto della **costruzione e utilizzo di modelli** che diano una **descrizione della dinamica dei mercati azionari** per alcuni versi più accurata di quella usata solitamente in letteratura, basata sull'analisi di Black Scholes e Merton, nella quale ogni singola azione evolve indipendentemente dalle altre. **La nostra analisi** si basa, invece, sull'idea che il **mercato** possa essere descritto **come un sistema stocastico caratterizzato da moti collettivi**, che possono spiegare fenomeni osservati empiricamente. Abbiamo, quindi, sviluppato un modello che considera anche l'influenza esercitata sull'evoluzione della singola azione dall'andamento complessivo del mercato e presenta analogie con un sistema di spin in approssimazione di campo medio. Con una trattazione analitica e simulazioni numeriche abbiamo verificato che il **nostro modello riproduce** alcune delle caratteristiche essenziali **dell'andamento dei mercati reali**. Questi risultati sono contenuti in 2 tesi di laurea (Martinelli e Della Savia) disponibili in rete ed in **una pubblicazione**, che abbiamo inviato ad un archivio elettronico di economia **Ci sarebbero possibili interessanti sviluppi di queste analisi**, che finora non ho potuto analizzare per motivi di tempo.

Ci siamo occupati anche dello **studio di correlazioni non lineari tra insiemi di azioni**, utilizzando per tale scopo anche **metodi statistici, come il metodo delle copule**, alternativi alle tecniche generalmente utilizzate in finanza quantitativa per l'analisi delle correlazioni tra serie storiche. I risultati ottenuti sono contenuti in una tesi disponibile in rete (Facchinetti) e in un **lavoro** che non è ancora stato ultimato. Uno dei nostri obiettivi è sfruttare lo studio delle correlazioni tra azioni per **ricostruire la struttura del network di interazioni**, tema di interesse attuale anche per le **applicazioni in diversi campi** di ricerca e in generale **nell'analisi di sistemi complessi**.

L'utilizzo di **strumenti ed algoritmi informatici** sempre più evoluti è importante **nell'attività di ricerca a cui ho preso parte in questi anni, in particolare sulla fisica del neutrino e sulla fisica delle alte energie**. Gli algoritmi per calcolare le probabilità di oscillazione dei neutrini richiedono di risolvere **problematiche numeriche piuttosto complesse**. **Su questi argomenti abbiamo scritto un lavoro**, nel quale sono presentati e discussi dei **codici numerici da noi sviluppati**, adatti per la soluzione di una classe di equazioni differenziali ordinarie. Questi programmi si basano su una implementazione in C++ di un algoritmo di Runge-

Kutta semi-implicito adattivo di quinto ordine e possono essere utilizzati per risolvere problemi connessi con l'evoluzione di diversi sistemi fisici.

Al tempo stesso l'**utilizzo** di potenti strumenti di calcolo (in particolare di un **cluster di computers paralleli** di tipo beowulf) si è rivelato **utile** sia **per** il calcolo delle probabilità di oscillazione per i **neutrini** solari e da reattore, sia, soprattutto, nell'analisi che abbiamo fatto della struttura delle matrici di massa per i leptoni **e**, in parte, anche **negli studi** a cui ho preso parte **sui sistemi complessi**.

**Avendo lavorato al Centro di Calcolo del Dipartimento di Fisica**, in particolare come **responsabile informatico della Sezione Teorica**, ho approfondito le **conoscenze delle tecniche di gestione di reti e di clusters di PC**, delle problematiche di sicurezza e dei diversi protocolli di comunicazione. Da diversi anni **partecipo anche all'attività del Laboratorio di Calcolo e Multimedia del Dipartimento**. Soprattutto in passato, come tecnico informatico e come post-doc, ho **partecipato in particolare allo sviluppo ed al coordinamento di diversi progetti innovativi in questo campo**, come (ad esempio) lo sviluppo di un **sistema di videoconferenza interattiva** basato su una piattaforma di tipo LINUX e l'installazione di **clusters di computers per il calcolo parallelo**. **Per anni ho collaborato e collaboro tuttora anche con l'attività didattica del laboratorio**; in particolare ho partecipato all'ideazione di un modello, che gestisco tuttora, insieme ad un esperto esterno, del **corso di "Metodi Computazionali per la Fisica"**.

In conclusione vorrei sottolineare il fatto che **da diversi anni posso, purtroppo, svolgere la mia attività di ricerca solo a tempo parziale**, in quanto sono impegnato nella mia attività di insegnante di scuola media superiore. Anche in considerazione di ciò negli ultimi anni **ho focalizzato la mia ricerca prevalentemente sulla fisica dei neutrini**, in quanto era l'argomento nel quale (grazie anche ai contatti sviluppati) era più facile per me mantenere viva un'attività di ricerca anche disponendo di poco tempo. **Al tempo stesso, però, ho cercato di mantenere sempre i contatti con altri settori della ricerca nella fisica delle interazioni fondamentali ed in particolare con lo studio delle interazioni adroniche ad alte energie**. In questo campo **ho già lavorato in passato** (durante la tesi di laurea con il Prof. L. Trentadue e durante il post-doc a Milano col gruppo dei Prof. Marchesini e Dokshitzer) e se potessi riprendere a lavorare a tempo pieno sulla ricerca **sarei sicuramente interessato a riprendere gli studi in questo campo**, ancor più in considerazione del fatto **che a Milano è attivo un gruppo di fenomenologia di alto livello su queste tematiche e che questi temi sono di grande attualità**, grazie anche all'impulso dato dalla fisica di LHC. **Credo che in questo campo e nell'applicazione di tecniche computazionali a problematiche di natura fisica potrei mettere a frutto le competenze acquisite nelle diverse attività** che sopra ho descritto (ricerca su vari aspetti di **fisica delle particelle, studi di sistemi complessi, problematiche computazionali ed informatiche**).

## ATTIVITÀ PROGETTUALE

ANNO	PROGETTO
2003/2004 E 2004/2005	In collaborazione con il Prof. R. Ferrari, con un collega assegnista e due professionisti esterni <b>ho ideato e realizzato il Master in “Metodologie e Modelli per la Finanza Quantitativa”</b> della Facoltà di Scienze dell’Università degli Studi di Milano, che si è svolto nel 2005/06 (vedi <a href="http://www.le.infn.it/~picariel/master_sito/">http://www.le.infn.it/~picariel/master_sito/</a> e <a href="http://pcferrari.mi.infn.it/master03_04/">http://pcferrari.mi.infn.it/master03_04/</a> ). Ero uno dei 5 membri del Comitato di progettazione del Master. Il nostro <b>progetto ha vinto anche un finanziamento del Fondo Sociale Europeo (FSE) (160.000 Euro).</b>
1994/2000	Ho <b>contribuito</b> alla stesura dei <b>progetti di ricerca</b> per la creazione di <b>Network Europei: Flavourdynamics, QCDnet durante il post-doc a Milano e, in particolare, EuroDaΦne</b> (durante il post-doc a Berna 1996/98).
2015, 2016 E 2017	Ho contribuito alla stesura di diversi <b>progetti</b> proposti da parte del gruppo di ricerca italiano dell’ <b>esperimento JUNO</b> per finanziamenti italiani ed internazionali. In particolare mi sono occupato, insieme ad altri 2 colleghi, <b>della stesura della parte tecnica della relazione presentata al CTS</b> (Comitato Tecnico Scientifico) dell’ <b>INFN</b> nel 2015/16 e recentemente (2017) ho scritto il <b>proposal scientifico per un bando ministeriale di collaborazione italo-cinese</b> (sullo studio dei neutrini solari e la ricerca di Non Standard Neutrino Interactions con l’esperimento JUNO) e sto scrivendo parte della <b>relazione scientifica</b> di un analogo <b>proposal per un PRIN</b> .
DAL 2008 IN POI	Ho <b>progettato e realizzato una rete di scuole</b> di diverso ordine e grado della provincia di Como, che stanno svolgendo (in <b>collaborazione con istituti universitari ed in particolare con l’Università dell’Insubria</b> ) una serie di attività didattiche e di ricerca descritte nel successivo punto del CV su “ <b>ORGANIZZAZIONE, DIREZIONE E COORDINAMENTO DI GRUPPI DI RICERCA</b> ”. Come responsabile per il mio istituto scolastico ho <b>progettato ogni anno le attività svolte in questo ambito</b> e inserite anche nel Piano di Offerta Formativa della mia scuola. Questi progetti hanno ottenuto anche dei finanziamenti ministeriali (ad esempio nell’ambito dei progetti “ <b>Scuole Aperte</b> ” e “ <b>Insegnare Scienze Sperimentali</b> ” e “ <b>Laboratori Scientifico.-Tecnologici</b> ”) e vinto dei concorsi (vedi pag. 2 del presente curriculum).

## ORGANIZZAZIONE, DIREZIONE E COORDINAMENTO DI GRUPPI DI RICERCA

ANNO	GRUPPO DI RICERCA	STRUTTURA
DAL 1999 IN POI	- Dal 1999 al 2005 ho <b>contribuito in maniera significativa</b> con il Prof. R. Ferrari alla <b>creazione e lo sviluppo</b> al Dipartimento di Fisica di Milano di un <b>gruppo di ricerca sulla fisica teorica e fenomenologica</b> ed in particolare sulla fisica <b>del neutrino</b> , proponendo spesso dei temi di ricerca, poi sviluppati con successo, sviluppando delle collaborazioni internazionali ed interne (anche con gruppi sperimentali, come Borexino e più recentemente JUNO, Auger ed ICARUS) e seguendo diversi laureandi e dottorandi (spesso anche come correlatore).	Dipartimento di Fisica della Università degli Studi di Milano.
2001-2005	Ho <b>sviluppato, in collaborazione</b> con R. Ferrari, B. Bassetti e un collega assegnista, un <b>gruppo di ricerca sull'applicazione di metodi e modelli fisico-matematici allo studio di sistemi complessi</b> ed in particolare di sistemi <b>economico finanziari</b> . Abbiamo pubblicato dei lavori e fornito delle tesi di <b>Laurea su questi temi e dato supporto ad una tesi di Dottorato</b> .	Dipartimento di Fisica della Università degli Studi di Milano
2004-2005 e 2005-2006	Ero <b>membro del Comitato Organizzatore</b> e ho contribuito in maniera significativa <b>all'organizzazione e coordinamento</b> (presso il Dipartimento di Fisica) delle attività del <b>Master in "Metodologie e Modelli per la Finanza Quantitativa"</b> (già descritto sotto la voce "Attività progettuale"). Mi sono occupato anche dello <b>sviluppo di tutti i contatti con i docenti e con le società esterne</b> . Questa rete di contatti è ancora attiva con la collaborazione di altri Atenei ed istituti bancari	Dipartimento di Fisica della Università degli Studi di Milano
Dal 2000 in poi	<b>Ho collaborato</b> , soprattutto durante il post-doc e l'assegno di ricerca e durante l'attività come "collaboratore di elaborazione dati" del Dipartimento di Fisica <b>all'organizzazione del Laboratorio di Calcolo e Multimedia (responsabile Prof. R. Ferrari) e al coordinamento dei diversi progetti innovativi realizzati in questo Laboratorio</b> , tra cui soprattutto lo sviluppo di un sistema di videoconferenza interattiva, basato su piattaforme di tipo Linux e l'installazione di un cluster di computer di tipo beowulf per il calcolo parallelo.	Dipartimento di Fisica della Università degli Studi di Milano
Dal 2008 in poi	Ho <b>coordinato e diretto gruppi di docenti</b> del mio Istituto secondario superiore e di altre scuole della provincia di Como, che si sono occupati di <b>diffusione della cultura scientifica</b> presso scuole di diverso ordine e grado, <b>realizzazione di laboratori interattivi</b> , promozione delle eccellenze (tra gli studenti) e <b>collaborazione scuole-Università</b> . In particolare sono stato responsabile (per la mia scuola e altri istituti aderenti a questa rete) dei progetti ministeriali <b>"Insegnare Scienze Sperimentali"</b> , <b>"Scuole Aperte"</b> . L'attività svolta è descritta sotto la precedente voce del CV "ATTIVITA' DI FORMAZIONE O DI RICERCA". Nell'anno scolastico 2015/16 ho scritto, come <b>referente per la mia scuola ed in collaborazione con colleghi di altre 3 scuole</b> della zona di Como e Milano, un <b>progetto</b> per un bando di finanziamento molto importante del <b>MIUR, mirante alla creazione di "Laboratori Territoriali"</b> . Il nostro progetto ha <b>superato la prima fase di selezione ministeriale</b> .	Istituto Scolastico ITIS Magistri Cumacini Como e rete di scuole collegate.

## CONGRESSI, CONVEGNI E SEMINARI

DATA	TITOLO	SEDE
2009	<b>SCELTO COME CONVENER</b> DELLA SESSIONE SU “NEUTRINI E FISICA ASTROPARTICELLARE” ALLA CONFERENZA <b>IFAE</b> (INCONTRI DI FISICA DELLE ALTE ENERGIE) <b>2009</b>	BARI APRILE 2009
<p>Partecipazione come <b>relatore, quasi sempre su invito, a più di 30 conferenze internazionali</b> tra le principali del settore della <b>Fisica teorica e fenomenologica delle particelle elementari</b>, tra cui: meeting e workshops dei networks europei “Flavourdynamics”, “EuroDaFne”, “QCDNET” e progetto “GRID” per il calcolo distribuito; “TAUP”; “Neutrino 2002 e 2004”, “NOW-Neutrino Oscillation Workshop-2006,’08 e 2010”; “UK Phenomenology Workshop on Collider Physics –Durham 1999”; “International Workshop on Hadronic Atoms and Positronium in the Standard Model–Dubna ’98”; “Third Tropical Workshop on Particle Physics and Cosmology: Neutrino, Branes and Cosmology” – Puerto Rico 2002; “ICATPP 2007, 2009, 2010, 2011 e 2013” – Villa Olmo, Como; “4th International School Bruno Pontecorvo on Neutrino Oscillation, CP and CPT violations...” - Capri 2003; diverse edizioni di “IFAE” e del Convegno Nazionale di Fisica Teorica a Cortona; “Les Rencontres de Physique de la Vallée d’Aoste”-La Thuille 2002;“Frontier Science 2005- New Frontiers in Subnuclear Physics”-Bicocca.; Incontro “WHAT NEXT” organizzato dall’I.N.F.N. (2014) (gruppi di lavoro su neutrini e su fisica del Modello Standard); Neutrino Telescopes (Venezia 2017). Anche recentemente relatore a Meeting di JUNO Italia.</p>		
<p><b>Relatore di seminari</b> su invito su fisica teorica e modelli e metodi fisici, matematici e statistici per l’economia in <b>Università italiane e straniere</b> (Zurigo, Berna, SISSA, Torino, Parma, Insubria, Milano, Milano-Bicocca,etc.).</p>		

Le dichiarazioni rese nel presente curriculum sono da ritenersi rilasciate ai sensi degli artt. 46 e 47 del DPR n. 445/2000.

Data

22/03/2018

Luogo

Como