

COMPITI E SUDDIVISIONE FONDI TRA LE UNITÀ DI RICERCA  
prot. 2005025197

<b>Coordinatore Scientifico</b>	Stefano CAVALIERI
<b>Ateneo</b>	Università degli Studi di FIRENZE
<b>Titolo della Ricerca</b>	Compressione temporale di impulsi di radiazione laser mediante controllo coerente
<b>Finanziamento assegnato</b>	Euro 65.000
<b>Durata</b>	24 Mesi

## Obiettivo della Ricerca

*Questo progetto di ricerca si propone lo studio, sia teorico che sperimentale, della compressione temporale di un impulso di radiazione laser mediante tecniche di controllo coerente basate sul fenomeno dell'Electromagnetically Induced Transparency.*

*L'obiettivo principale è la conferma sperimentale delle indicazioni previste dal nostro modello teorico (1,2). Ciò prevede l'osservazione del fenomeno di compressione utilizzando campioni di atomi caldi in fase gassosa in cella e laser impulsati monomodo operanti nella regione spettrale del visibile e nel dominio temporale dei nanosecondi.*

*Ulteriori espliciti obiettivi consistono nell'individuazione sperimentale dei limiti che possono essere raggiunti dalla tecnica proposta in termini di intensità e durata temporale dell'impulso laser compresso e la realizzazione di un realistico modello teorico/numerico - che estenda i precedenti lavori (1,2) prendendo in considerazione processi concomitanti finora trascurati - al fine di predire e riprodurre i risultati sperimentali.*

*Un obiettivo implicito che sarebbe automaticamente raggiunto, una volta soddisfatti quelli dei punti precedenti, è l'acquisizione di tecniche sperimentali, strumentazione e conoscenze teorico-modellistiche che possano costituire la base per una futura estensione dello studio proposto alla regione spettrale del vuoto ed estremo ultravioletto. Vale la pena sottolineare che tecniche di "pulse shaping" in questa regione spettrale non sono realizzabili dall'attuale tecnologia a stato solido, mentre sono previste dal nostro modello.*

1) R. Buffa, S. Cavalieri and M.V. Tognetti, "Coherent control of temporal pulse shaping by electromagnetically induced transparency" *Phys. Rev. A* 69, 033815 (2004).

2) R. Buffa, S. Cavalieri and M.V. Tognetti: "Temporal compression of short-wavelength laser pulses by coherent control in rare gases" *2004 Opt. Lett.* 29, 2432).

## Innovazione rispetto allo stato dell'arte nel campo

*Progressi in ottica sono stati frequentemente connessi allo sviluppo di nuovi materiali con caratteristiche ottiche ottimizzate. In anni recenti la preparazione coerente del mezzo è stata proposta come un nuovo modo per produrre importanti cambiamenti nelle proprietà ottiche di un mezzo gassoso molecolare o atomico. In questo caso è la coerenza indotta dal campo laser che porta a interferenze quantistiche fra diversi cammini di eccitazione che controlla la risposta ottica del mezzo. Questo richiede la preparazione di atomi "vestiti" da radiazione laser per creare quella che è stata chiamata "trasparenza indotta da radiazione elettromagnetica" (EIT).*

*La caratteristica notevole è che, invece della familiare curva anomala di dispersione che si osserva a risonanza in condizioni normali, nell'EIT si osserva una dispersione normale dove l'assorbimento è trascurabile, con una pendenza lineare controllata dall'intensità del laser di accoppiamento. Ciò porta a fenomeni quali propagazione della luce a velocità bassissime con compressione spaziale longitudinale degli impulsi laser. La ricerca, sia teorica che sperimentale, si è rivolta verso tecniche di "light storage".*

*Dai partecipanti a questo progetto è stato recentemente pubblicato uno studio teorico che discute e spiega come sfruttare le peculiarità della dinamica di propagazione in presenza di EIT al fine di controllare in modo coerente la forma temporale di impulsi laser (1).*

*L'innovazione fondamentale che si avrebbe nel caso di successo del progetto è data dalla possibilità di usare un laser di accoppiamento che può essere nella regione spettrale dell'infrarosso o del visibile - dove tecniche di "shaping" temporale sono disponibili da un punto di vista sperimentale - per controllare il profilo temporale di un impulso laser di "probe" che può essere nella regione spettrale dell'ultravioletto vuoto (VUV) o anche estremo ultravioletto (XUV), dove la tecnica di "shaping" temporale proposta appare quindi come unica. La compressione di impulsi laser nelle regioni spettrali del VUV ed XUV appare come un'interessante applicazione delle tecniche di "shaping" temporale descritte in (1) e può fornire importanti applicazioni di ottica non lineare a piccola lunghezza d'onda.*

1) R. Buffa, S. Cavalieri and M.V. Tognetti, "Coherent control of temporal pulse shaping by electromagnetically induced

transparency" *Phys. Rev. A* 69, 033815 (2004).

## **Criteri di verificabilità**

*In questo progetto si stabiliscono una serie di obiettivi - essenzialmente coincidenti con le fasi temporali in cui viene organizzato - che costituiscono la base sulla quale valutare a posteriori la riuscita del progetto stesso.*

*La ricerca si articolerà in due anni e tre fasi:*

*Fase (1) - I primi 8 mesi del primo anno.*

*E' nostra intenzione costruire due sorgenti laser con le caratteristiche citate basandosi sulla tecnologia dei laser a Ti:Sa iniettati da laser a diodo accordabili in frequenza. Le energie ottenibili da questi tipi di laser sono tipicamente dell'ordine di qualche mJ per impulso e quindi largamente sufficienti per ottenere le intensità necessarie per il controllo coerente da parte del laser dressing. A tale scopo abbiamo richiesto il supporto economico per l'acquisto e la costruzione di un sistema laser monomodo con durata variabile fra 5 e 100 ns.*

*Questo lavoro sarà accompagnato dall'allestimento della ulteriore necessaria strumentazione, quale celle riscaldabili per il contenimento di atomi alcalini in fase gassosa, rivelazione degli impulsi laser, elettronica di analisi e di servizio, etc. In particolare verrà costruita una cella di lunghezza  $L = 1$  m da usare alternativamente a quella già disponibile ( $L = 0.1$  m).*

*La durata temporale variabile dell'impulso laser dressing - e la possibilità di temporizzarlo opportunamente rispetto all'impulso di prova mediante l'uso di ritardi ottici - si presenta come una condizione sufficiente per una prima dimostrazione sperimentale della compressione dell'impulso di prova.*

*Contemporaneamente, ai fini di una ottimale progettazione dell'esperimento, verranno effettuati calcoli teorici e numerici per lo specifico schema dell'atomo alcalino che verrà utilizzato nell'esperimento.*

*Fase (2) - 8 mesi a cavallo tra primo e secondo anno.*

*In questa fase verrà osservata sperimentalmente la compressione di un impulso di prova di debole intensità, la cui frequenza sia nel visibile, utilizzando atomi alcalini quale mezzo materiale nel quale creare la coerenza.*

*La condizione di debole intensità, che semplifica la modellizzazione, è definita da un modesto trasferimento di popolazione dallo stato fondamentale a quelli eccitati.*

*Nel programma originario in questa fase erano previsti lo studio delle situazioni ottimali di lunghezza di interazione e densità del mezzo gassoso ai fini della compressione e la possibilità di una estensione del controllo della forma temporale da una compressione ad una forma arbitraria dell'impulso di "probe". A questo fine, e per un controllo accurato della forma temporale del campo laser di accoppiamento, sarebbe stato realizzato un formatore di impulsi sulla scala dei nanosecondi usando una cella di Pockels da acquistare.*

*Nell'attuale situazione di riduzione dei fondi questa parte non è più assicurata.*

*Da un punto di vista teorico/numerico, in questa fase si intende studiare come il processo di compressione funzioni all'aumentare dell'intensità - ed al diminuire della durata temporale  $t$  - del laser di "probe".*

*Fase (3) - Gli ultimi 8 mesi del secondo anno*

*Dopo la realizzazione di questo primo esperimento, si procederà allo studio sperimentale dei limiti della tecnica in riferimento alle caratteristiche dell'impulso laser di prova.*

*In questa fase, pensata per la seconda parte del secondo anno del progetto, ci proponiamo pertanto di:*

- a) individuare sperimentalmente i limiti di compressione temporale ottenibili.*
- b) studiare il fenomeno in funzione dell'intensità del campo di prova.*
- c) osservare il processo utilizzando impulsi laser di "probe" non limitati per trasformata di Fourier.*

*Appare di notevole interesse un'analisi teorica del punto c), anche al fine di progettare un apparato sperimentale di più semplice realizzazione.*

*Questi punti, previsti nel programma originario in questa terza fase, non potranno essere garantiti a causa della riduzione del finanziamento.*

## **Elenco delle Unità di Ricerca**

<b>Sede dell'Unità</b>	Università degli Studi di FIRENZE
<b>Responsabile Scientifico</b>	Stefano CAVALIERI
<b>Finanziamento assegnato</b>	Euro 43.300

### **Compito dell'Unità**

*La ricerca dell'unità fiorentina sarà articolata in tre fasi di cui la prima sarà svolta nel primo anno, la seconda a cavallo fra il primo e il secondo e la terza nell'ultima parte del secondo anno.*

*1) Progetto e realizzazione dell'apparato sperimentale.*

*E' nostra intenzione costruire due sorgenti laser con le caratteristiche citate basandosi sulla tecnologia di laser Ti:Sa iniettati da laser a diodo accordabili in frequenza: a tale scopo abbiamo richiesto il supporto economico per un sistema laser avendo già disponibile un sistema e il laser che fornirà il pompaggio del mezzo attivo (laser Nd:Yag a 10 Hz di frequenza di ripetizione e 5 ns durata temporale con generazione di seconda armonica di energia paria 500 mJ).*

*La realizzazione di queste sorgenti con durata temporale variabile (5-100 ns) rappresenta una ricerca necessaria sia per acquisire la strumentazione per il progetto stesso sia per ottenere un risultato originale nell'ambito delle sorgenti laser.*

*Il lavoro di allestimento ulteriore dell'apparato sperimentale prevede la realizzazione di una cella riscaldabile per la propagazione dei campi in mezzi gassosi formati da atomi alcalini, rivelazione degli impulsi, elettronica di analisi e di servizio etc.*

*2) Sperimento di compressione con campo di prova debole.*

*In questa fase si studierà sperimentalmente la compressione di un impulso di prova debole la cui frequenza sia nel visibile. Verrà inoltre studiata la possibilità di una estensione del controllo della forma temporale da una compressione ad una forma desiderata dell'impulso. A questo fine e per un controllo accurato della forma temporale del campo laser di accoppiamento, nel programma originario era prevista la costruzione di un formatore di impulsi sulla scala di nanosecondi usando una cella di Pockel da acquistare; data la riduzione dei fondi questa parte non è attualmente finanziata.*

*3) Studio dei limiti della tecnica in riferimento alle caratteristiche del laser di prova.*

*In questa fase esamineremo i limiti di applicazione della tecnica di compressione con riguardo all'intensità del campo di prova e quindi alla condizione di limitata eccitazione atomica. In questi studi cercheremo di trovare sperimentalmente i limiti di compressione. A questo scopo verrà costruito un autocorrelatore non lineare per la misura della forma temporale dell'impulso compresso nel caso di durate inferiori a 1 ns. Verranno inoltre studiati altri limiti della tecnica con particolare riguardo all'uso di campi anche non limitati per trasformata di Fourier (campi laser multimodo) che porterebbero a un uso più generale della tecnica proposta ( Queste sorgenti laser sono già in possesso del gruppo fiorentino).*

*Questa terza fase, prevista nel programma originario in questa terza fase, potrà essere ridotta a causa della riduzione del finanziamento.*

---

<b>Sede dell'Unità</b>	Università degli Studi di SIENA
<b>Responsabile Scientifico</b>	Roberto BUFFA
<b>Finanziamento assegnato</b>	Euro 21.700

### **Compito dell'Unità**

*Il compito dell'Unità operativa di Siena è quello di sviluppare un realistico modello teorico/numerico che affianchi in ogni stadio il lavoro sperimentale al fine di:*

*1) progettare in modo ottimale gli esperimenti;*

*2) fornire un'approfondita conoscenza dei limiti raggiungibili - in termini di intensità e durata temporale - con la tecnica proposta.*

*3) predire e riprodurre i risultati sperimentali.*

*Uno studio sistematico del processo di compressione richiede:*

*1) la soluzione numerica dell'equazione di Liouville, per ottenere l'evoluzione temporale delle popolazioni e delle coerenze del singolo atomo; 2) la media di queste evoluzioni temporali sulla distribuzione delle velocità atomiche, per ottenere l'evoluzione temporale della polarizzazione del mezzo atomico; 3) la soluzione numerica delle equazioni di propagazione di Maxwell, per ottenere la propagazione dei campi laser. Tale procedura si adatta bene ad un calcolo numerico parallelo in quanto il punto (1) va ripetuto molte volte cambiando ogni volta soltanto un parametro (la velocità atomica). Tra i compiti dell'Unità operativa di Siena c'è quindi anche quello di sviluppare un adeguato codice parallelo ottimizzato per le grandi macchine di calcolo.*