

Proposta QUANTEP

QUANtum T echnologies E xperimental P latform

Franco Spinella

QUANTEP

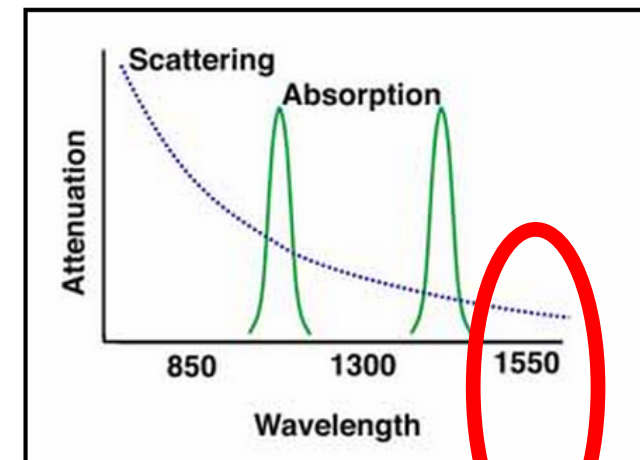
- In risposta alla Call tematica di Gr V sullo sviluppo di tecnologie quantistiche (valutazione entro settembre)
- Responsabile nazionale Andrea Salamon (Roma 2)
- 8 Sezioni coinvolte: LNL,MI,PG,PV,RM2,SA,TO
- 20 FTE/y circa, budget ~ 1 M€
- **Goal:** Sviluppo di circuiti integrati fotonici operanti in regime di singolo fotone per algoritmi di quantum computing, integrazione su silicio di rivelatori e sorgenti di singolo fotone e di circuiti per il controllo della polarizzazione

Stato dell'arte

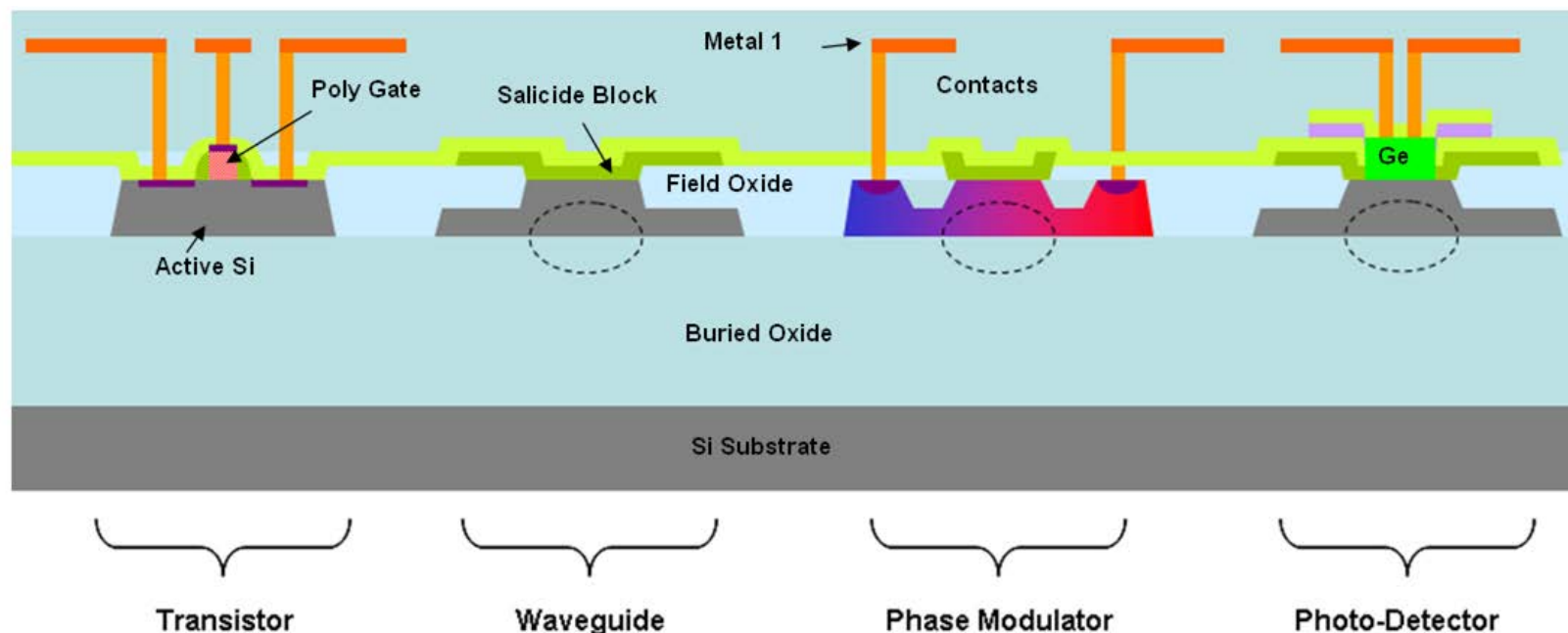
- ❖ Vari progetti INFN nell' ambito della silicon photonics su **Silicon On Insulator** (QUICHE, SPE, Phos4Brain, ...) -> applicazioni non QC o non single photon o senza sorgenti/rivelatori integrati.
- ❖ Progetti INFN (piu' Univ.) nell'ambito del quantum computing, anche con fotoni singoli, ma basati su banchi ottici
- ❖ Proposta vuole integrare le due attività, sviluppando un circuito ottico su substrato di SOI per uso in condizioni di single photon e che permetta di sperimentare con gate quantistici (c-not) e con sorgente e rivelatore integrati.

Fotonica su SOI (Silicon On Insulator)

❖ Il Silicio e' un ottimo materiale per la trasmissione della luce, alto indice di rifrazione (> 3.5) e bassa attenuazione (alle giuste lunghezze d'onda)



$\lambda = 1550$ nm
standard
telcom.



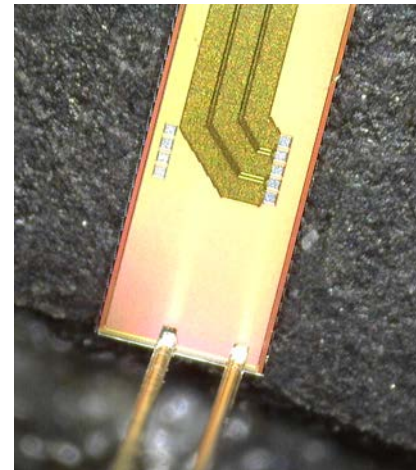
❖ E' possibile integrare vari componenti ottici e/o anche elettrici CMOS compatibili

Fotonica su SOI 2

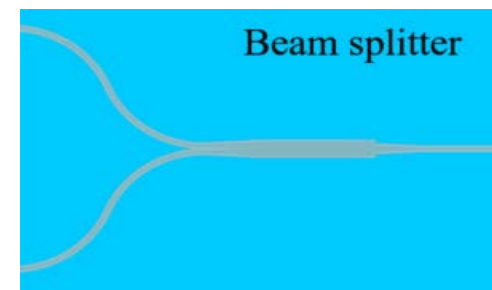
- ❖ IC fotonici realizzati nel precedente progetto SPE con IHP SG25PIC (interferometro Mach-Zender)



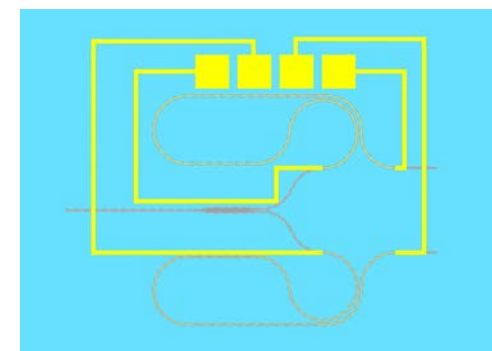
- ❖ Tools: Cadence + Lumerical
- ❖ Cadence non piu' disponibile
- ❖ IPKISS + TexEDA + Lumerical



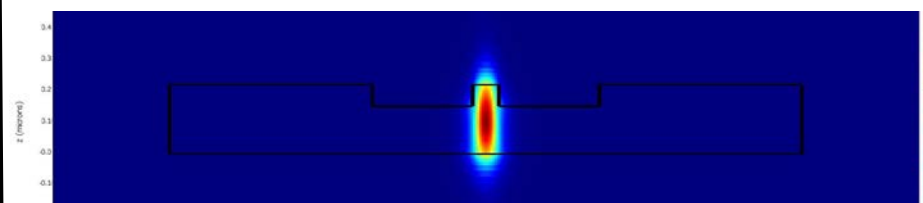
Fibre I/O
accoppiate con
reticolo di Bragg



Beam splitter
simmetrico 50%



Sfasatore
termo ottico



Simul. Lumerical

Quantum Computing con ottica lineare

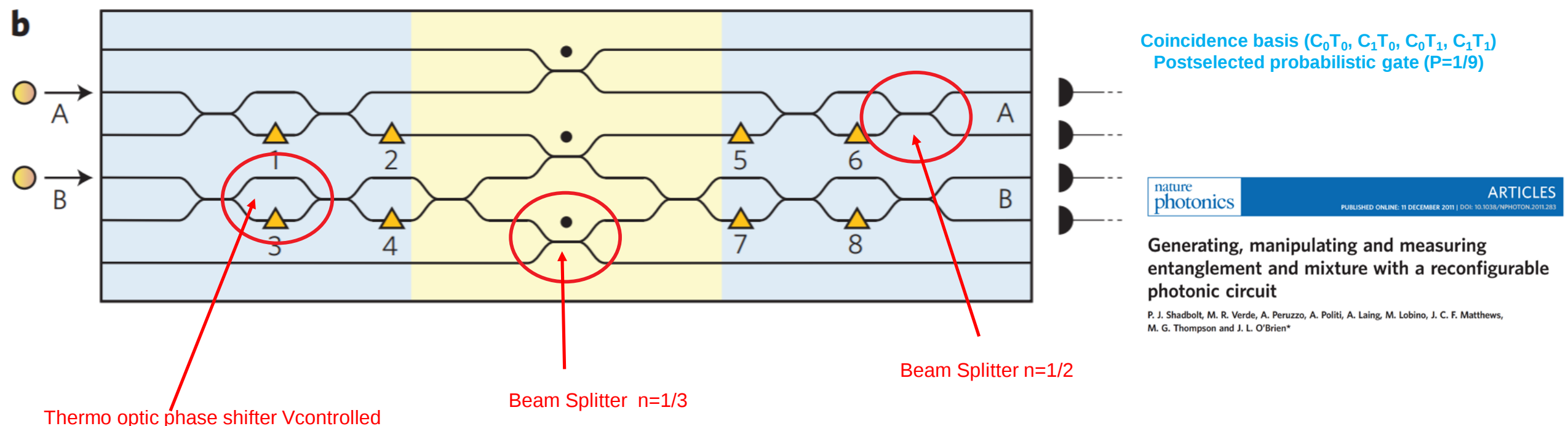
- [1982] R. P. Feynman suggerisce di costruire un computer basato sulla manipolazione di funzioni d'onda per poter simulare la natura con un calcolatore quantistico
- [1994] P. W. Shor propone un algoritmo di fattorizzazione di numeri interi in numeri primi operante su un computer quantistico più efficiente dell'analogo classico
- [2001] Knill, Laflamme e Milburn dimostrano come sia possibile usare l'ottica lineare per l'elaborazione di informazioni quantistiche servendosi di beam splitter, phase shifter, sorgenti e rivelatori di singolo fotone.
In particolare con questi elementi si puo' costruire un gate CNOT (controlled not) che e' il mattone fondamentale di tutti gli algoritmi quantistici.

Controlled NOT (CNOT)

❖ Gate quantistico fondamentale, opera su 2 QBIT. Inverte il secondo (target) se e solo se il primo e' $|1\rangle$

INPUT		OUTPUT	
Controllo	Target	Controllo	Target
$ 0\rangle$	$ 0\rangle$	$ 0\rangle$	$ 0\rangle$
$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	$ 0\rangle$	$ 1\rangle$
$ 1\rangle$	$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	$ 1\rangle$
$ 1\rangle$	$ 1\rangle$	$ 1\rangle$	$ 0\rangle$

❖ Può essere costruito con elementi di ottica lineare:



QUANTEP 1

- ❖ QUANTEP propone di realizzare il CNOT in due versioni:
 - ❖ IC fotonico, con sorgenti e rivelatori esterni, accoppiati tramite fibra
 - ❖ IC fotonico completo di sorgenti single photon, polarizzatori e rivelatori single photon integrati su silicio



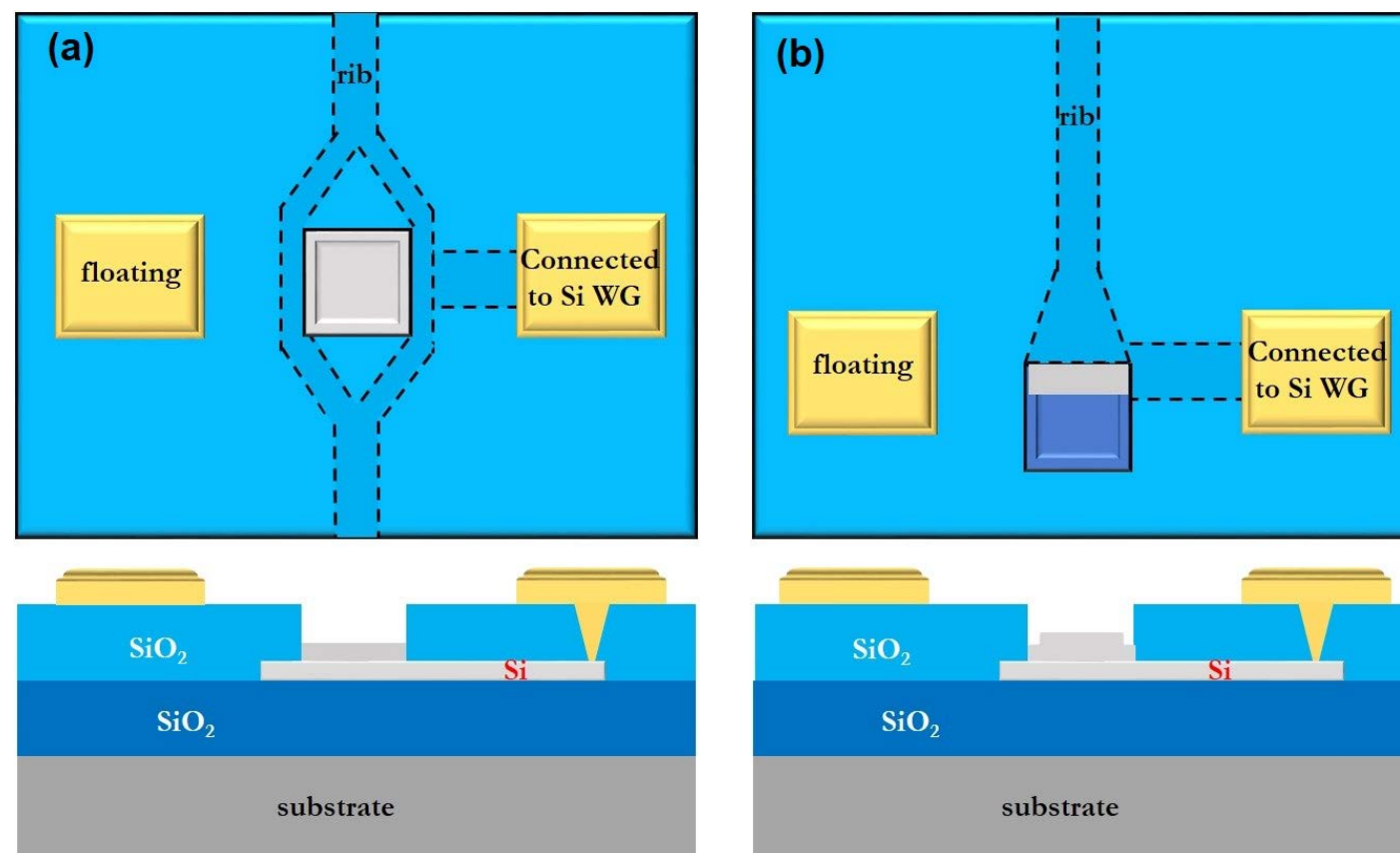
Il Silicio sara' realizzato da IHP:

Innovations for high performance MicroElectronics

Istituto di ricerca tedesco specializzato in IC fotonici e RF

QUANTEP 2

- ❖ Fase 1: processo IHP SG25PIC (SOI con processo CMOS a 250 nm)
- ❖ Fase 2: sorgenti e rivelatori si ottengono tramite deposizioni ioniche su silicio (effettuate dagli enti di ricerca partner)
Concordate con IHP lavorazioni di post produzione (es. creazione delle aree scoperte di ossido)



WP

- A Pisa vorremmo collaborare al WP3: progetto e simulazione dell'ottica lineare integrata su silicio
- Interesse anche per il WP1: integrazione del sistema e test
Qualche test a Pisa, principalmente a RM2

- Anagrafica

- G. Magazzu	30%	}	INFN/Dip fisica.
- F. Spinella	20%		
- S. Donati	10%		
- E. Pedreschi	10%		
- A. Toncelli	20%		
- F. Morsani	5%		
- S. Cammarata	30%	}	Dip. Ing.
- S. Saponara	0% (part. esterna)		
- C. Gabbanini	20 %	}	CNR INO
- A. Fioretti	20%		

- Previsti fondi per un assegno su Pisa

- Durata call 3 anni

- Richieste alla Sezione e budget

- Bonding dei prototipi in camera pulita 1w/y tecnico AT
- Laboratorio: la maggior parte dei test si faranno a RM2
A Pisa potremo utilizzare il lab di Mu2e dove e' presente un tavolo ottico
- Simulazioni elettromagnetiche richiedono molta CPU. PC molto potente P9 multicore 0.5 TB RAM di Mu2e ma potremmo valutare richiedere supporto su una farm di Sezione
- Budget:

PI	3	Human resources (AdR)	25			SPServices
	3	CAD license (Lumerical FDTD)	5	5		SW licenses
	3	CAD license (TexEDA IC)	2.5	4		SW licenses
	3	Travels	2	2	2	Travels
	3	IHP custom runs NRE costs	39			Consumables
	3	IHP three dopings levels NRE costs	15			Consumables
	3	IHP MPW run costs 40 mm2	80			Consumables
	3	PCB and bonding		5	5	Consumables
Total PI			168.5	16	7	