



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA
DIPARTIMENTO DI FISICA

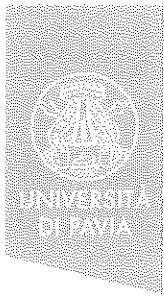
Pavia, 11-5-2018
Repertorio n° 974/2018
Prot. n° 38144
Titolo: X Classe: 4
Fascicolo: 2018/16

DETERMINA A CONTRARRE

Procedura negoziata, senza previa pubblicazione di bando,
ai sensi dell'art. 63 comma 2 lett. b) n. 2) del D.Lgs n. 50/2016
CIG 74788584DC - CUP F11H18000680001

IL DIRETTORE DI DIPARTIMENTO

- **PREMESSO** che il Dipartimento di Fisica ha necessità di procedere all'acquisto di un sistema di rivelazione in fibra ottica a singolo fotone a lunghezze d'onda Telecom per le specifiche esigenze di ricerca legate al Progetto "Dipartimento di Eccellenza" in particolare per la parte sperimentale del progetto "Fisica quantistica: fondamenti e tecnologie" per un importo presuntivamente quantificato in € 173.000,00 (IVA esclusa);
- **RICHIAMATA** la delibera del Consiglio di Dipartimento Rep. N. 34/2018 Prot. n. 26046 del 28/03/2018 con la quale è stata autorizzata la relativa spesa, che si allega alla determina;
- **RICHIAMATO** l'art.32 (*Fasi delle procedure di affidamento*), comma 2, del D.Lgs. n.50/2016 e s.m.i. (*Codice dei contratti pubblici*) ai sensi del quale le stazioni appaltanti, in conformità ai propri ordinamenti, decretano o determinano a contrarre, individuando gli elementi essenziali del contratto e i criteri di selezione degli operatori economici e delle offerte;
- **VISTO** l'art.1, comma 449 della Legge n.296/2006 e s.m.i. ai sensi del quale le istituzioni universitarie sono tenute ad approvvigionarsi utilizzando le convenzioni quadro di Consip s.p.a.;
- **ACCERTATA** l'insussistenza di una convenzione Consip attiva per il bene richiesto;
- **VISTO** l'art.1, comma 450 della Legge n.296/2006 e s.m.i. ai sensi del quale le Università per acquisti di beni e servizi di importo pari o superiore a 1.000 e inferiori alla soglia di rilievo comunitario sono tenute a fare ricorso al Mercato Elettronico della Pubblica amministrazione;
- **ACCERTATO** che il bene non è presente nel catalogo MEPA;
- **RICHIAMATO** l'art.36 (*Contratti sotto soglia*), comma 2, lett. b), del D.Lgs. n.50/2016;
- **VERIFICATO** che per l'acquisto in esame può trovare applicazione l'ipotesi delineata dall'art. 63 comma 3 lett. b) n. 2 del D.Lgs n. 50/2016 che consente di attivare una procedura negoziata senza previa pubblicazione di bando;



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA
DIPARTIMENTO DI FISICA

- **RITENUTO** di dover procedere, ai fini di quanto sopra, all'espletamento di una procedura negoziata da aggiudicarsi secondo il criterio del prezzo più basso ai sensi dell'art.95 (*Criteri di aggiudicazione dell'appalto*), comma 4, lett. b) ovvero c) del D.Lgs. n.50/2016;
- **INDIVIDUATA** una base d'asta da assoggettare al ribasso pari a € 173.000,00 (IVA esclusa) al netto delle tasse e dei costi di importazione, importo determinato tenendo conto del cambio del dollaro in data 28/03/2018 pari a 1,2398 (€ 173.000,00 = \$ 214.485,40);
- **RITENUTO** di dover invitare alla procedura in oggetto il seguente operatore individuato mediante un'indagine di mercato informale: PHOTON SPOT (USA).
Dalla relazione tecnica allegata alla delibera del Consiglio di Dipartimento del 28/03/2018 si evince infatti che dopo l'indagine di mercato informale condotta con cinque operatori, è emerso un "ambito non concorrenziale" in quanto solo la ditta PHOTON SPOT (USA) offre un prodotto con caratteristiche tecniche compatibili con le specifiche esigenze di ricerca del Dipartimento
- **RICHIAMATO** il Regolamento di Ateneo per l'Amministrazione, la Finanza e la contabilità, con particolare riguardo all'art.37 (*Poteri di spesa*);
- **ACCERTATA** la sussistenza della copertura finanziaria;

DISPONE

- Di autorizzare, ai sensi dell'art. 63 comma 3 lett. b) n. 2 del D.Lgs n. 50/2016, l'espletamento di una procedura negoziata senza previa pubblicazione di bando (CIG 74788584DC) con l'operatore economico PHOTON SPOT (USA) per l'acquisto di un sistema di rivelazione in fibra ottica a singolo fotone a lunghezze d'onda Telecom avente le seguenti specifiche tecniche:
a) Efficienza quantica 85% @ 1550 nm; b) risoluzione temporale ≤ 50 ps; c) conteggi di buio ≤ 100 Hz; d) temperatura di esercizio 0.8 K; e) tempo misura 48 h; f) 16 canali RF di ingresso; g) numero max. di canali 32 (upgrade possibile).
- Di nominare la Dott.ssa Maria Grazia Brunelli responsabile del procedimento, supportata per gli aspetti tecnico-economici dal Prof. Matteo Galli;
- Di far gravare la relativa spesa presuntivamente quantificata in € 211.060,00 (già comprensivi di IVA) e al netto dei costi di importazione e dell'eventuale oscillazione connessa al cambio valuta sul progetto "DIPARTIMENTO DI ECCELLENZA" CUP F11I18000680001 presente nel budget 2018 del Dipartimento di Fisica.

Università degli Studi di Pavia
DIPARTIMENTO DI FISICA
IL DIRETTORE

Prof. Alberto Ritondi

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA

Delibera n. 34/2018 del Consiglio di

Dipartimento di Fisica del 28/03/2018

pag. 1/5

| | | | |
|---|-----------------|----------------|-----------------------------|
| OGGETTO: Dipartimento di Eccellenza - Autorizzazione acquisto strumentazione | | | |
| N. o.d.g.: 05/04 | Rep. n. 34/2018 | Prot. n. 26046 | UOR: DIPARTIMENTO DI FISICA |

| Nominativo | Ruoli | F | C | A | As | Nc |
|------------------------|-------|---|---|---|----|----|
| ANDREANI LUCIO | PO | X | | | | |
| CARFORA MAURO | PO | | | | X | |
| CARRETTA PIETRO | PO | | | | X | |
| D'ARIANO GIACOMO MAURO | PO | X | | | | |
| LIVAN MICHELE | PO | X | | | | |
| MARABELLI FRANCO | PO | X | | | | |
| MONTAGNA GUIDO | PO | X | | | | |
| OTTOLENGHI ANDREA | PO | X | | | | |
| ROTONDI ALBERTO | PO | X | | | | |
| ALTIERI SAVERIO | PA | | | | X | |
| BACCHETTA ALESSANDRO | PA | X | | | | |
| BALLARINI FRANCESCA | PA | X | | | | |
| BOCA GIANLUIGI | PA | X | | | | |
| DE AMBROSIS ANNA | PA | X | | | | |
| FREGONESE LUCIO | PA | X | | | | |
| GALINETTO PIETRO | PA | X | | | | |
| GALLI MATTEO | PA | X | | | | |
| GEDDO MARIO | PA | | | | X | |
| GERACE DARIO | PA | X | | | | |
| GIUSTI CARLOTTA | PA | | | | X | |
| LISCIDINI MARCO | PA | | | | X | |
| MACCHIAVELLO CHIARA | PA | X | | | | |
| MACCONE LORENZO | PA | X | | | | |
| MIHICH LUIGI | PA | | | | X | |
| NEGRI ANDREA | PA | | | | X | |
| PASQUINI BARBARA | PA | X | | | | |
| PATRINI MADDALENA | PA | | | | X | |
| PERINOTTI PAOLO | PA | X | | | | |
| REBUZZI DANIELA | PA | | | | X | |
| RICCARDI CRISTINA | PA | X | | | | |
| RIMOLDI ADELE | PA | | | | X | |
| ROMANO SILVANO | PA | | | | X | |
| VITULO PAOLO | PA | X | | | | |
| BAIOCCO GIORGIO | R | X | | | | |
| BELLANI VITTORIO | R | | | | X | |

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA

Delibera n. 34/2018 del Consiglio di

Dipartimento di Fisica del 28/03/2018

pag. 2/5

| | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------|---|--|--|---|--|
| BORTOLUSSI SILVA | R | X | | | | |
| BOZZI GIUSEPPE | R | X | | | | |
| DAPPIAGGI CLAUDIO | R | | | | X | |
| DE BARI ANTONIO | R | | | | X | |
| FALOMO LIDIA | R | | | | X | |
| GIROLETTI ELIO | R | | | | X | |
| GIULOTTO ENRICO VIRGILIO | R | X | | | | |
| INTROZZI GIANLUCA | R | X | | | | |
| MARIANI MANUEL | R | X | | | | |
| MENEGOLLI ALESSANDRO | R | X | | | | |
| MONTAGNA PAOLO | R | X | | | | |
| PRANDO GIACOMO | R | X | | | | |
| MOZZATI MARIA CRISTINA | RAPPRESENTANTE PTA | X | | | | |
| BUSSOLA FRANCESCO | RAPPRESENTANTE DOTTORANDI | X | | | | |
| CARACCILO FILIPPO | RAPPRESENTANTE DOTTORANDI | X | | | | |
| ERBA MARCO | RAPPRESENTANTE DOTTORANDI | X | | | | |
| BABINI GABRIELE | RAPPRESENTANTE ASSEGNISTI | X | | | | |
| ABED ABUD ADAM | RAPPRESENTANTE DEGLI STUDENTI | | | | X | |
| AMICI RICCARDO | RAPPRESENTANTE DEGLI STUDENTI | X | | | | |
| CAVALLINI LUCA | RAPPRESENTANTE DEGLI STUDENTI | | | | X | |
| CHIESA MARIANNA | RAPPRESENTANTE DEGLI STUDENTI | | | | X | |
| FIORINA DAVIDE | RAPPRESENTANTE DEGLI STUDENTI | | | | X | |
| LONGHI RUBENS | RAPPRESENTANTE DEGLI STUDENTI | | | | X | |
| SACCHI ANDREA | RAPPRESENTANTE DEGLI STUDENTI | | | | X | |
| TOSCANI MARTINA | RAPPRESENTANTE DEGLI STUDENTI | | | | X | |

Legenda: (F - Favorevole) - (C - Contrario) - (A - Astenuto) - (As - Assente) - (Nc - Non convocato)

Allegato: 1 - Relazione tecnica

Il Direttore informa che il Dipartimento deve procedere all'acquisto di un sistema di rivelazione a singolo fotone a lunghezze d'onda Telecom ed in particolare di un rivelatore a nano-filo superconduttore denominato SNSPD per le specifiche esigenze di ricerca del prof. Galli.

L'acquisto graverà sul contributo concesso dal Ministero per il "DIPARTIMENTO DI ECCELLENZA", in particolare per la parte sperimentale del progetto "Fisica quantistica: fondamenti e tecnologie (FISICA QUANTISTICA)" che ha l'obiettivo di potenziare la ricerca

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA

Delibera n. 34/2018 del Consiglio di

Dipartimento di Fisica del 28/03/2018

pag. 3/5

in quantum photonics finalizzata allo sviluppo di nuove tecnologie quantistiche e la realizzazione di un Laboratorio Avanzato di Fotonica Quantistica.

Allo scopo di individuare la base d'asta, per poter autorizzare la relativa spesa e definire contestualmente la corretta procedura da utilizzare ai fini dell'acquisto, il prof. Galli ha provveduto ad espletare apposita indagine informale di mercato.

Dopo aver preliminarmente accertato l'insussistenza di una convenzione CONSIP attiva per il bene richiesto e verificato che il bene non è presente nel catalogo del Mercato Elettronico della Pubblica Amministrazione (MEPA), è stato altresì verificato che al momento non sono presenti sul mercato italiano operatori economici in grado di fornire un sistema di rivelatori SNSPD.

Sul mercato internazionale sono state individuate cinque ditte estere che commercializzano rivelatori SNSPD alle quali è stata richiesta la formulazione di apposito preventivo nel quale sono state altresì esplicitate le caratteristiche tecniche del sistema proposto:

- SCONTEL (Russia): € 142.500,00=.
- Single Quantum (Olanda): € 193.700,00=.
- IDQuantique (Svizzera): € 169.776,00=.
- Photon Spot (USA): € 173.065,00=.
- Quantum Opus (USA): € 142.361,00=.

Gli importi tengono conto del cambio del dollaro in data 28/03/2018 pari a 1,2398 e sono al netto dell'IVA.

I preventivi vengono allegati alla presente delibera quale parte integrante e sostanziale e si collocano al di sotto della soglia comunitaria; nei preventivi vengono altresì esplicitate le caratteristiche tecniche dei sistemi stessi.

Inizialmente, ai fini dell'acquisto, si era ipotizzato di far riferimento all'art.63, comma 3, lett.a) che consente di procedere tramite procedura negoziata senza bando "qualora i prodotti oggetto dell'appalto siano fabbricati esclusivamente a scopo di ricerca, di sperimentazione, di studio o di sviluppo, salvo che si tratti di produzione in quantità volta ad accertare la redditività commerciale del prodotto o ad ammortizzare i costi di ricerca e di sviluppo": in presenza dei citati presupposti è possibile procedere, nel rispetto dei requisiti di trasparenza, concorrenza, rotazione, tramite invito a cinque operatori economici, se sussistono in tale numero soggetti idonei.

Il prof. Galli ha tuttavia provveduto, sulla base delle specifiche tecniche dichiarate dalle case costruttrici ad una valutazione comparativa dei diversi sistemi SNDP che tiene conto dei seguenti parametri:

- valori di efficienza quantica
- valori della risoluzione temporale
- conteggi di buio
- sistema di raffreddamento
- tempo utile di esercizio del sistema di raffreddamento
- numero massimo di rilevatori installabili nel sistema

Sulla base dell'esame comparativo condotto le cui risultanze sono dettagliate nella relazione tecnica elaborata dal prof. Galli e allegata alla presente delibera quale parte integrante e per le motivazioni ivi esposte l'unico operatore in grado di offrire un sistema compatibile con le specifiche esigenze di ricerca del Dipartimento è la ditta Photon Spot.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA

Delibera n. 34/2018 del Consiglio di

Dipartimento di Fisica del 28/03/2018

pag. 4/5

Si ritiene pertanto che per la fattispecie in esame possa trovare applicazione l'ipotesi delineata dall'art.63 comma 3 lett. b) n.2 del D.Lgs. n.50/2016 che consente la possibilità di negoziare con un predeterminato operatore economico perché la concorrenza è assente per motivi tecnici e non vi sono soluzioni alternative ragionevoli, fermo restando che l'assenza di concorrenza non è il risultato di una limitazione artificiale dei parametri dell'appalto.

Terminata l'esposizione il Direttore propone al Consiglio di Dipartimento l'indizione di una procedura negoziata senza bando con la ditta Photon Spot per un importo a base di gara pari a € 173.000,00=, con aggiudicazione a favore del prezzo più basso, posto che si procederà ad una negoziazione con un unico fornitore e che le condizioni tecniche di fornitura sono già state preventivamente definite dal Dipartimento in quanto strettamente correlate al tipo di ricerca da svolgersi. Un'eventuale aggiudicazione sulla base del criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa risulterebbe non soltanto impraticabile ma avrebbe come effetto distorto un allungamento dei tempi di approvvigionamento, non compatibili con il cronoprogramma delle attività di ricerca, con un potenziale incremento dei costi amministrativi.

Si precisa che l'importo come sopra quantificato potrebbe subire lievi oscillazioni connesse al cambio valuta in quanto l'operatore economico è straniero e procederà alla formulazione dell'offerta in dollari; tale importo non risulta inoltre essere comprensivo delle tasse e degli eventuali costi di importazione che allo stato attuale non è possibile quantificare nemmeno presuntivamente e che comunque non sono suscettibili, per loro intrinseca natura, di negoziazione fra le parti.

Si propone, da ultimo, la nomina della dott.ssa Maria Grazia Brunelli quale Responsabile unico del procedimento, che verrà supportata, limitatamente agli aspetti tecnico-economici, dal prof. Galli tenuto conto della peculiarità della fornitura che richiede il possesso di competenze tecniche specialistiche.

IL CONSIGLIO DI DIPARTIMENTO

- *Premesso che il Dipartimento ha necessità di acquistare un sistema di rivelazione a singolo fotone a lunghezze d'onda TELECOM per le esigenze di ricerca del progetto "DIPARTIMENTO DI ECCELLENZA - Fisica quantistica: fondamenti e tecnologie";*
- *Accertata l'insussistenza di una convenzione Consip attiva per il bene in oggetto e verificata preventivamente l'insussistenza del bene nel catalogo dei prodotti del Mercato Elettronico;*
- *Esaminati gli esiti dell'indagine informale di mercato condotta dal prof. Galli le cui risultanze vengono allegare alla presente delibera;*
- *Ritenuto ai fini dell'acquisto e sulla base delle motivazioni di cui alle premesse di poter procedere all'indizione di una procedura negoziata senza bando a norma dell'art.63, comma 2, lett. b), n.2 del D.Lgs. n.50/2016 con l'operatore Photon Spot;*
- *Individuato un importo a base di gara presuntivamente quantificato in € 173.000,00 (IVA esclusa) al netto delle tasse e dei costi di importazione ancora da quantificare;*

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA

Delibera n. 34/2018 del Consiglio di

Dipartimento di Fisica del 28/03/2018

pag. 5/5

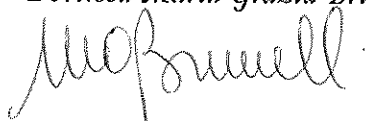
-
- *Richiamato l'art. 37 del vigente Regolamento di Ateneo per l'amministrazione, la finanza e la contabilità ai sensi del quale il Dipartimento ha autonomia di spesa per importi superiori a € 50.000,00= e sino alla soglia comunitaria;*
 - *Accertata la sussistenza della copertura finanziaria;*
 - *Ritenuto di dover procedere alla nomina del Responsabile Unico del procedimento;*
 - *Con il voto unanime dei Consiglieri presenti*

DELIBERA

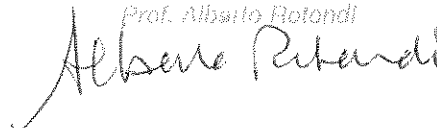
1. *Di autorizzare l'espletamento di una procedura negoziata senza previa pubblicazione di un bando di gara secondo l'art. 63 comma 2 lettera b), n.2 del Codice degli Appalti (D. Lgs. 50/2016) con l'operatore Photon Spot (USA) per un importo presuntivamente pari a € 173.000,00=. (IVA esclusa) da aggiudicare secondo il criterio del prezzo più basso;*
2. *Di far gravare la relativa spesa presuntivamente quantificata in € 211.060,00 (già comprensivi di IVA) sul progetto contabile "DIPARTIMENTO DI ECCELLENZA" in particolare sulla parte sperimentale del progetto "Fisica quantistica: fondamenti e tecnologie (FISICA QUANTISTICA)". Tale importo non è comprensivo degli eventuali costi di importazione che allo stato attuale non è possibile quantificare. La disponibilità finanziaria sul progetto è garantita dall'anticipazione di fondi da parte dell'Amministrazione Centrale dell'Ateneo.*
3. *Di designare la Dott.ssa Maria Grazia Brunelli quale responsabile del procedimento supportata per gli aspetti tecnico-economici dal prof. Matteo Galli.*

Il presente dispositivo di delibera è letto ed approvato seduta stante ed è immediatamente esecutivo.

IL SEGRETARIO AMMINISTRATIVO
Dott.ssa Maria Grazia Brunelli



Università degli Studi di Pavia
DIPARTIMENTO DI FISICA
IL DIRETTORE
Prof. Alberto Rotondi



RELAZIONE TECNICA

PER L'ACQUISTO DI UN SISTEMA DI RIVELAZIONE A SINGOLO FOTONE A LUNGHEZZE D'ONDA TELECOM

Matteo Galli

Università di Pavia, Dipartimento di Fisica, via A Bassi 6, 27100 Pavia

La rivelazione efficiente di singoli fotoni nell'intervallo spettrale delle telecomunicazioni (1.3–1.5 μm) è possibile grazie al recente sviluppo dei rivelatori a nano-filo superconduttore, denominati SNSPD (Superconducting Nanowire Single Photon Detector). Il principio di funzionamento dei rivelatori SNSPD è molto semplice (vedi figura) e si basa sull'assorbimento di un fotone da parte di un circuito a "meandro" realizzato con un nano-filo di materiale superconduttore avente dimensioni di 70–100 nm in larghezza e 5–7 nm in spessore. Tale meandro superconduttore costituisce l'elemento sensibile del rivelatore. A rivelatore acceso, il circuito a meandro è mantenuto nello stato superconduttore (a una temperatura inferiore alla temperatura critica, generalmente dell'ordine di pochi gradi Kelvin) ed è percorso da una corrente di poche decine di micro Ampere. Grazie alle dimensioni nanometriche della sezione del nano-filo, l'assorbimento di un singolo fotone in un tratto del meandro è sufficiente a provocare la distruzione dello stato superconduttivo, generando un picco di tensione ai capi del circuito. L'osservazione, tramite amplificazione elettronica e conteggio veloce, del picco in tensione costituisce l'evento di rivelazione del singolo fotone.

Le caratteristiche specifiche dei rivelatori SNSPD che sono maggiormente rilevanti ai fini della ricerca in fotonica quantistica sono le seguenti: 1) efficienza quantica; 2) risoluzione temporale; 3) conteggi di buio. Tali caratteristiche sono unicamente determinate dalla geometria e dal materiale di cui è costituito l'elemento sensibile (circuito a meandro), ma dipendono in modo critico dalla temperatura di esercizio del rivelatore, che deve essere mantenuta la più bassa e la più costante possibile durante tutto il tempo di utilizzo. In particolare, una temperatura di servizio più bassa consente di aumentare sensibilmente la corrente di polarizzazione del circuito, con conseguente aumento sia dell'efficienza quantica sia della risoluzione temporale, mantenendo comunque i conteggi di buio al minimo. Per questa ragione gli elementi sensibili sono di solito montati all'interno di un criostato a ciclo chiuso ad elio che è in grado di raffreddarli e mantenerli costantemente ad una temperatura inferiore ai 3 K. A

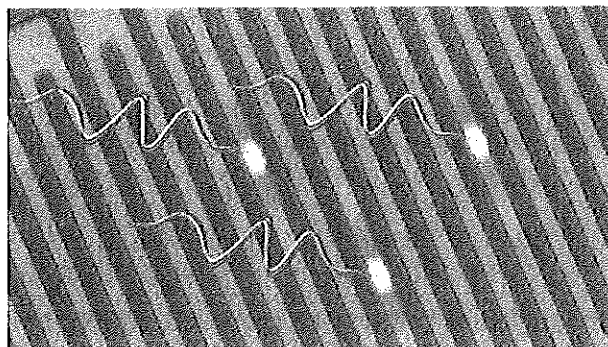


Figura 1. Immagine al microscopio elettronico a scansione di un circuito a meandro di nano-filo superconduttore. L'assorbimento di singoli fotoni è illustrato pittoricamente.

parità di specifiche dell'elemento sensibile, il sistema di raffreddamento è quindi determinante nella scelta di un rivelatore a singolo fotone basato su SNSPD, al fine di garantirne il perfetto funzionamento, l'affidabilità e la durata nel tempo. Infine, un'altra importante caratteristica di un sistema di rivelazione SNSPD è il numero massimo di rivelatori che possono essere installati nello stesso criostato (numero di canali). Un elevato numero di canali, oltre a rendere possibile l'installazione di più elementi sensibili con caratteristiche diverse (che coprono un intervallo spettrale più ampio), permette anche di effettuare misure di coincidenze multiple (a più fotoni) che costituiscono un elemento fondamentale nella ricerca in fotonica quantistica e sono alla base dei diversi protocolli di comunicazione quantistica.

Sul mercato internazionale sono presenti diverse ditte fornitrici di rivelatori SNSPD che si differenziano sia per il materiale impiegato per la fabbricazione dell'elemento sensibile, sia per tipo di criostato utilizzato nel sistema di raffreddamento. **Al momento sul mercato italiano non è presente alcuna ditta in grado di fornire un sistema di rivelatori SNSPD.** Si è quindi proceduto all'individuazione di cinque ditte estere che commercializzano rivelatori SNSPD con le seguenti caratteristiche:

1) SCONTEL – Superconducting Nanotechnology (Russia)

- sensing element: NbN meander;
- quantum efficiency: $\geq 85\%$ @ 1550 nm;
- time jitter: ≤ 50 ps;
- dark counts: ≤ 100 Hz
- cryocooler type: Sumitomo RDK-101D ($T \leq 3$ K).
- numero max. canali: 8

2) Single Quantum (Olanda)

- sensing element: NbTiN meander;
- quantum efficiency: $\geq 80\%$ @ 1550 nm;
- time jitter: ≤ 35 ps;
- dark counts: ≤ 300 Hz
- cryocooler type: Sumitomo RDK-101D ($T \leq 3$ K)
- - numero max. canali: 24

3) IDQuantique (Svizzera)

- sensing element: MoSi meander;
- quantum efficiency: $\geq 80\%$ @ 1550 nm;
- time jitter: ≤ 35 ps;
- dark counts: ≤ 100 Hz
- cryocooler type: Sumitomo RDK-101D + Sorption Pump ($T=0.8$ K)
- hold time: 38 h;
- numero max. canali: 8

4) Photon Spot (USA)

- sensing element: WSi or NbN meander;
- quantum efficiency: $\geq 85\%$ @ 1550 nm;
- time jitter: ≤ 40 ps;

- dark counts: ≤ 100 Hz
- cryocooler type: Sumitomo RDK-101D + Sorption Pump ($T=0.8$ K)
- hold time 48 h
- numero max. canali: 32

5) Quantum Opus (USA)

- sensing element: MoSi meander;
- quantum efficiency: $\geq 80\%$ @ 1550 nm;
- time jitter: ≤ 45 ps;
- dark counts: ≤ 1000 Hz
- cryocooler type: Sumitomo RDK-101D ($T \leq 3$ K)
- numero max. canali: 16

Alla luce delle specifiche sopra elencate e dichiarate dalle case costruttrici è possibile fare alcune considerazioni utili per una valutazione comparativa dei diversi sistemi SNSPD.

- a) **Quantum Efficiency:** i valori di efficienza quantica dichiarati dalle diverse case costruttrici sono molto simili tra loro e sono compresi tra 80% e 85%. Considerando che l'incertezza sul valore dichiarato è di circa il 10%, possiamo concludere che questo parametro è sostanzialmente identico per tutti i rivelatori considerati.
- b) **Time Resolution:** i valori della risoluzione temporale (time jitter) dichiarati sono compresi tra 45 e 50 ps per i rivelatori forniti da Scontel, e Quantum Opus, mentre sono dell'ordine di 35 ps per i rivelatori forniti da IDQuantique, Single Quantum e Photon Spot.
- c) **Dark counts:** anche in questo caso i valori dichiarati per i diversi rivelatori sono molto simili tra loro e sono tutti dell'ordine di 100 Hz. E' importante notare che, per tutti i rivelatori considerati, il valore dei dark counts è principalmente determinato dall'emissione di corpo nero (termica) delle fibre ottiche connesse al rivelatore. In caso di necessità, il valore dei dark counts può essere ridotto notevolmente con un semplice raffreddamento del tratto di fibra all'interno del criostato. Tutte le ditte fornitrici offrono questa opzione gratuitamente.
- d) **Cryocooler:** i sistemi di raffreddamento forniti dalle diverse ditte si differenziano in due tipi: Scontel, Single Quantum e Quantum Opus forniscono un sistema basato sul refrigeratore a ciclo chiuso Gifford-McMahon (modello Sumitomo RDK-101D) in grado di raggiungere una temperatura minima (non specificata) inferiore a 3 K. Le ditte Photon Spot e IDQuantique forniscono un sistema di raffreddamento sempre basato sul modello Sumitomo RDK-101D ma con l'aggiunta di una criopompa a carboni attivi (sorption pump) che permette di raggiungere una temperatura stabile di esercizio del rivelatore pari a 0.8 K. Per confrontare i due sistemi di raffreddamento è necessario fare alcune osservazioni:

- 1) la temperatura minima raggiunta dai refrigeratori Sumitomo RDK-101D è una caratteristica specifica di ogni singolo refrigeratore ed è compresa tra 2.3 K e 3 K. La casa costruttrice garantisce che tale temperatura è minore di 3 K al momento della consegna.
 - 2) la temperatura minima raggiunta dai refrigeratori Sumitomo RDK-101D dipende dallo stato di usura meccanica del refrigeratore e tende ad aumentare leggermente con il tempo di utilizzo. Per garantire una temperatura minima inferiore a 3 K è necessario effettuare una revisione del sistema ogni 10000 ore, come indicato dalla casa costruttrice.
 - 3) la temperatura minima raggiunta dai refrigeratori Sumitomo RDK-101D equipaggiati con pompa a carboni attivi è di 0.8 K e non dipende dall'usura meccanica dello stadio RDK-101D fintanto che quest'ultimo sia in grado di raggiungere una temperatura base minore di 4 K. Per questo motivo il ciclo di revisione del refrigeratore equipaggiato con pompa a carboni attivi è stimato in almeno 30000 ore.
- e) **Hold time:** questo parametro indica il tempo utile di esercizio del sistema di raffreddamento alla temperatura nominale di lavoro. Per il criostati con una temperatura base di 3 K questo tempo è indefinito (senza pause di interruzione) mentre per i criostati che lavorano a una temperatura base di 0.8 K il tempo di esercizio senza pause è di 38 ore per il sistema della IDQuantique e di 48 ore per il sistema della Photon Spot.
- f) **Numero max. di canali:** si riscontra che il numero massimo di rivelatori installabili è di 32 canali nel sistema offerto da Photon Spot, 24 canali nel sistema offerto da Single Quantum, 16 canali nel sistema offerto da Quantum Opus e solamente 8 canali per i sistemi offerti da Scontel e IDQuantique.

In base a questa analisi comparativa si può concludere quanto segue:

- 1) I rivelatori forniti da Photon Spot, Single Quantum e IDQuantique presentano una risoluzione temporale significativamente migliore degli altri (~30 ps contro ~50 ps). A questo proposito è importante notare che un incremento della risoluzione temporale del 30-40 % potrebbe essere molto rilevante nelle misure quantistiche a coincidenza multipla. Tutte le altre specifiche sono invece sostanzialmente equivalenti per tutti i cinque rivelatori presi in considerazione.
- 2) Considerando l'estrema dipendenza delle performances dell'elemento sensibile dalla temperatura di esercizio (sia in termini di minima temperatura raggiunta sia in termini di stabilità nel tempo), i rivelatori forniti da IDQuantique e Photon Spot presentano un sistema di raffreddamento decisamente migliore degli altri. È inoltre importante notare che un sistema di raffreddamento in grado di raggiungere una temperatura di base di 0.8 K garantisce un margine di operazione più tollerante qualora gli elementi sensibili del rivelatore dovessero degradarsi nel tempo, ovvero qualora in futuro fosse necessario installare nel criostato un elemento sensibile di nuova generazione che richiede una temperatura di lavoro minore di 2 K. Questo

marginale di operazione in temperatura è tanto più importante in considerazione del fatto che il sistema di raffreddamento costituisce circa la metà del prezzo del rivelatore.

3) I due sistemi che lavorano a una temperatura base di 0.8 K presentano un tempo di esercizio senza pause di 38 h (IDQuantique) e 48 h (Photon Spot), rispettivamente. La possibilità di disporre di un tempo di esercizio ininterrotto più lungo potrebbe essere molto rilevante nel caso di misure a coincidenze multiple con basso rate di emissione, per cui sarebbe necessario impiegare tempi di integrazione più lunghi.

4) Solo due dei fornitori presi in considerazione offrono la possibilità di accomodare un numero sufficientemente elevato di rivelatori nel criostato: Photon Spot con un modello da 32 canali e Single Quantum con un modello a 24 canali. Come già evidenziato, la possibilità di avere a disposizione un numero elevato di canali è fondamentale in vista di possibili upgrade futuri del sistema con elementi sensibili con prestazioni migliori degli attuali oppure ottimizzati per intervalli spettrali diversi (ad esempio per lo spettro visibile). Inoltre, la possibilità di aggiungere ulteriori canali senza dover acquistare un criostato supplementare si rivela di estrema importanza in considerazione del fatto che il sistema di raffreddamento costituisce circa la metà del prezzo del sistema di rivelazione.