

## **Capitolo III**

### **Il modulo SCM**

#### **3.1 Introduzione**

Come detto l'SCM realizza l'interfaccia di una stringa con il resto dell'apparato. Nel capitolo precedente abbiamo già visto alcune delle funzioni più importanti dell'SCM. Una di queste è il multiplexing – demultiplexing dei segnali ottici. Questi segnali viaggiano dalla shore station verso ciascun MLCM su lunghezze d'onda differenti (demultiplexing) e nella direzione opposta (multiplexing).

Un'altra importante funzione già citata è il controllo di alcuni dispositivi:

- Tiltmeter e Compass utilizzati per la calibrazione spaziale;
- SPM che permette la regolazione della tensione per alimentare l'intera stringa.

#### **3.2 Meccanica del modulo**

Il modulo SCM ha la forma cilindrica e le stesse dimensioni e del modulo LCM illustrato in precedenza. Si tratta di un cilindro le cui dimensioni interne sono: 15.3 cm di diametro, 50 cm di lunghezza. L'involucro è costituito da un

cilindro di dimensioni adatte racchiuso tra due piatti come mostrato in figura 3-1.

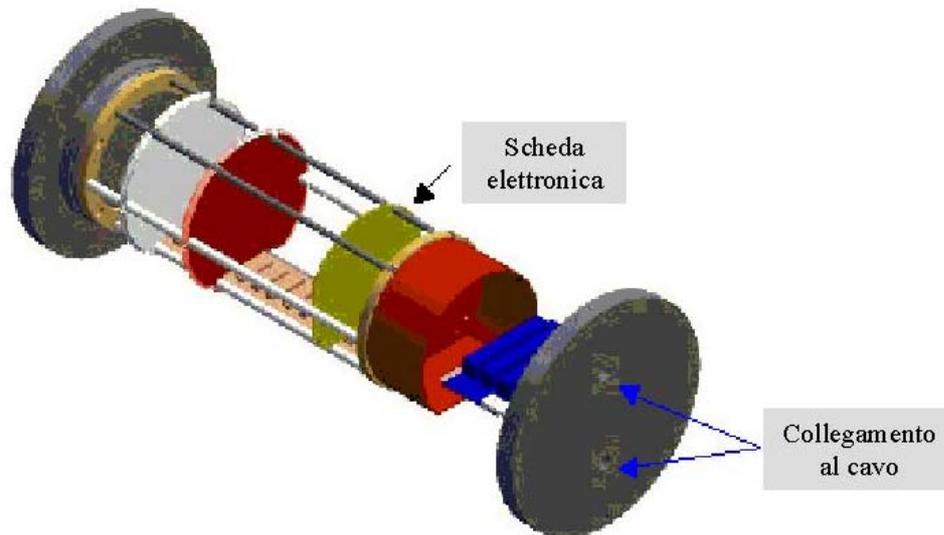


Figura 3-1. Disegno di un SCM/LCM

Il materiale dell'involucro è costituito da una lega di titanio dello spessore idoneo a supportare la pressione idrostatica e ad evitare campi elettromagnetici indotti. Dentro l'involucro sono contenute schede elettroniche di forma quasi circolare, sostenute attraverso opportuni supporti, poste in modo trasversale all'asse del cilindro come mostrato dalle figure 3-2 e 3-3.



Figura 3-2. Fotografia di un prototipo di LCM/SCM.

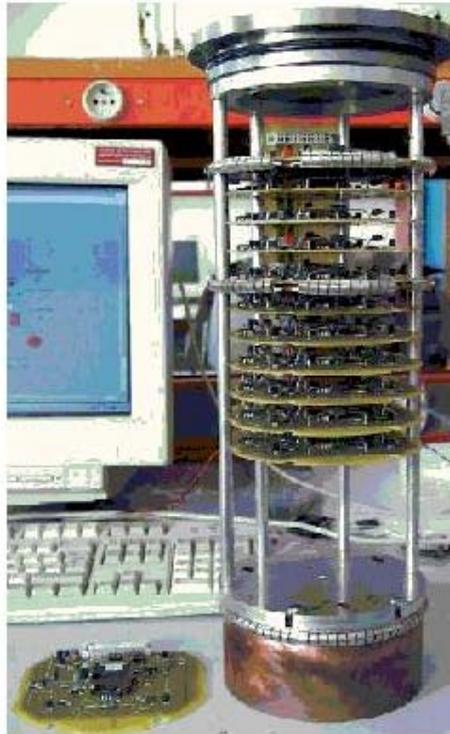


Figura 3-3. Fotografia di un prototipo di LCM/SCM.

Le schede elettroniche sono connesse elettricamente e meccanicamente, tramite una serie di connettori, ad un'ulteriore scheda elettronica denominata 'backplane', osservabile in figura 3-4, disposta in direzione parallela all'asse del modulo.

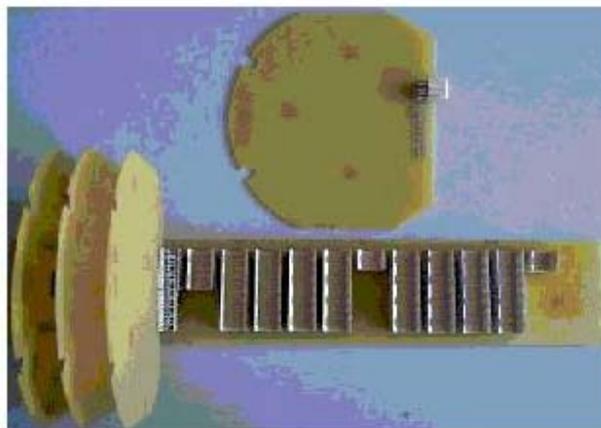


Figura 3-4. Fotografia di un backplane completo di connettori.

Le schede elettroniche sono divise per funzionalità e fra di esse è posto un disco separatore metallico, con funzioni di schermo elettromagnetico e dissipatore di calore. In cima al modulo è posta una scatola denominata POWER BOX, identica per i moduli LCM e SCM [20], che permette la riduzione della tensione di 400 V proveniente dall'SPM verso tutte le tensioni necessarie per alimentare le schede elettroniche (48, 5, 5.5, 3.3, 2.5, 1.8 e 12 V) [21]. Uno schema di questo dispositivo è mostrato in figura 3-5.

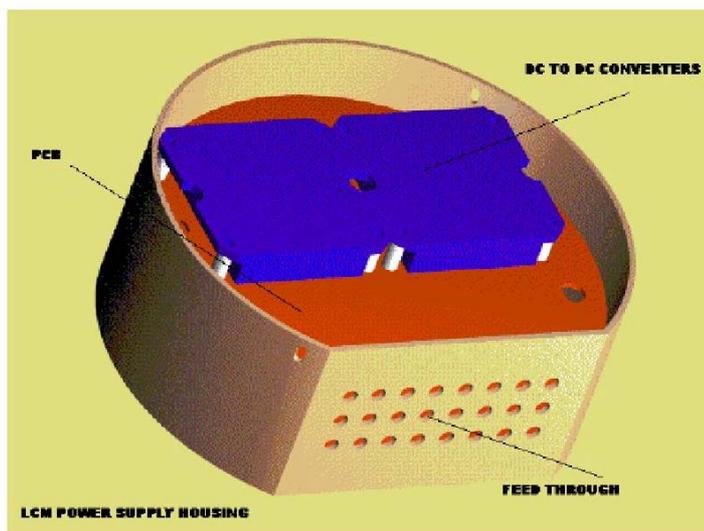


Figura 3-5. Disegno del Power Box di un SCM/LCM

### 3.3 Trasmissione SCM – shore station

Una specifica ricorrente, presente nella scelta e nella progettazione di tutti i sistemi che costituiscono il rivelatore, richiede la caratteristica di una elevata affidabilità, valutata dalla stima del MTBF (Mean Time Between Failure)

che sarà descritto nel capitolo successivo. Si esige, infatti, un MTBF dell'ordine di  $10^6$  ore (circa 10 anni). Ciò sia per ridurre gli elevati costi dovuti al recupero e all'installazione delle stringhe e sia per non limitare l'efficacia di rivelazione, privando il detector delle parti che hanno subito avarie. A questo proposito la filosofia adottata si basa su due strategie:

- la riduzione della potenza elettrica in gioco, ottenuta attraverso dispositivi a che dissipano una minima potenza e adottando standard di comunicazione di basso consumo (DAT, LVDS, LVPECL, LVTTTL ecc.)<sup>1</sup>;
- l'utilizzo dei dispositivi attivi ai livelli più bassi possibile dell'albero che schematizza il rivelatore in figura 3-6, con conseguente riduzione dei nodi intelligenti. Infatti i dispositivi attivi sono i maggiori responsabili dei guasti e una loro avaria potrebbe portare al mancato funzionamento di una parte rilevante del rivelatore [12].

Alcuni risultati che derivano dalla precedente argomentazione portano alla decisione di adottare dispositivi Mux/Demux DWDM completamente passivi e di unificare il controllo dei sensori e dispositivi verso il modulo (LCM, SCM) più vicino.

---

<sup>1</sup> Nell'ordine: Differential Analog Trasmission, Low Voltage Digital Signal, Low Voltage Positive Emitter Couplet Logic, Low Voltage Transistor-Transistor Logic

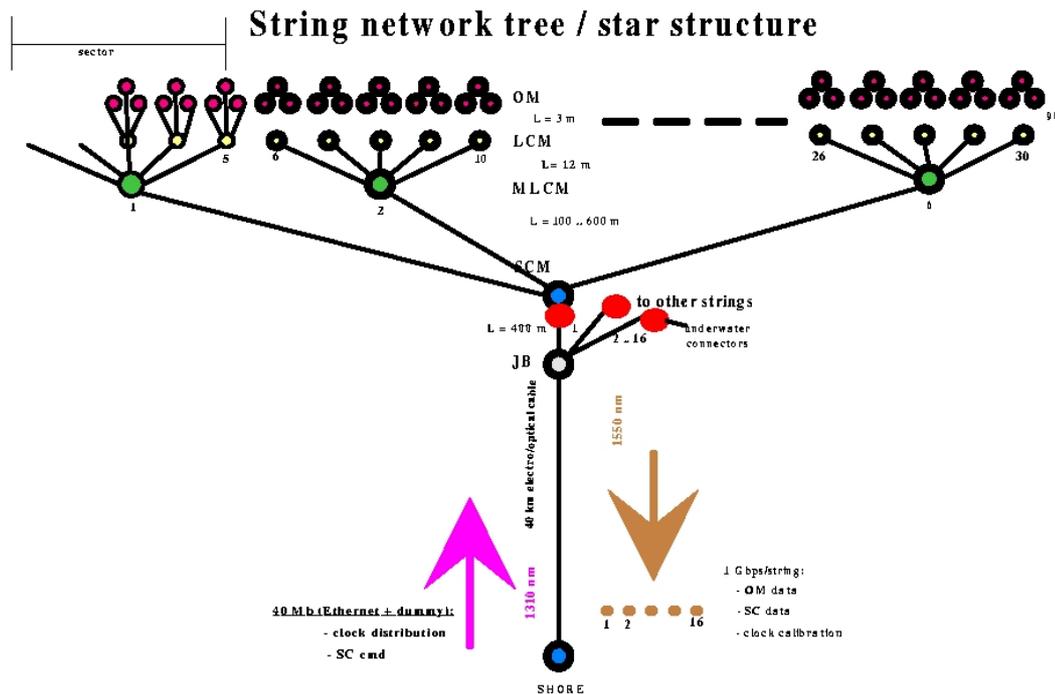


Figura 3-6. Schematizzazione a forma di albero dei moduli JB,SCM,MLCM, LCM slave e OM.

Dunque un importante funzione caratteristica del modulo SCM è il controllo di 5 dispositivi e sensori esterni prossimi al modulo stesso. Questi sono:

- SPM (String Power Module), modulo che esegue la regolazione e la distribuzione dell'alimentazione verso tutti i settori della stringa e verso l'SCM;
- Laser Beacon (uno tra i 6 Optical Beacon presenti in una stringa);
- Acoustic Transponder (dispositivo che emette e riceve segnali acustici in acqua);
- Sound Velocimeter (sensore che permette di misurare la velocità del suono nell'acqua);
- Pressure Sensor (sensore che permette di misurare la pressione idrostatica).

Poiché questi dispositivi devono trasmettere le loro misure e devono essere controllati da istruzioni fornite dalla shore station attraverso l'SC è necessario aggiungere ai 6 canali DWDM bidirezionali che trasportano i dati da/verso gli MLCM, un'ulteriore canale pure bidirezionale per la comunicazione con il modulo SCM.

### **3.4. Calibrazione**

Nel capitolo II è stato descritto il triplice sistema di calibrazione temporale, tra cui quello basato sull'utilizzo di 'avvisatori ottici' (Optical Beacon). Il Laser Beacon è un Optical Beacon, esterno all'SCM pertanto, alloggiato in un involucro simile a quello dei moduli LMC e SCM. La sorgente laser è di tipo Nd-YAG ed emette luce con lunghezza d'onda 532 nm (spettro del verde). Il dispositivo è dotato della necessaria elettronica per il controllo dell'alimentazione, della temperatura e dell'umidità.

Poiché nel sito scelto è presente un elevato tasso di sedimentazione, il supporto che ricopre la posizione di uscita degli implusi luminosi si oscurerebbe molto in fretta. Quindi si è pensato di inclinare il laser e permettere la diffusione dei raggi luminosi sulla parete laterale del supporto trasparente come mostra la figura 3-7.

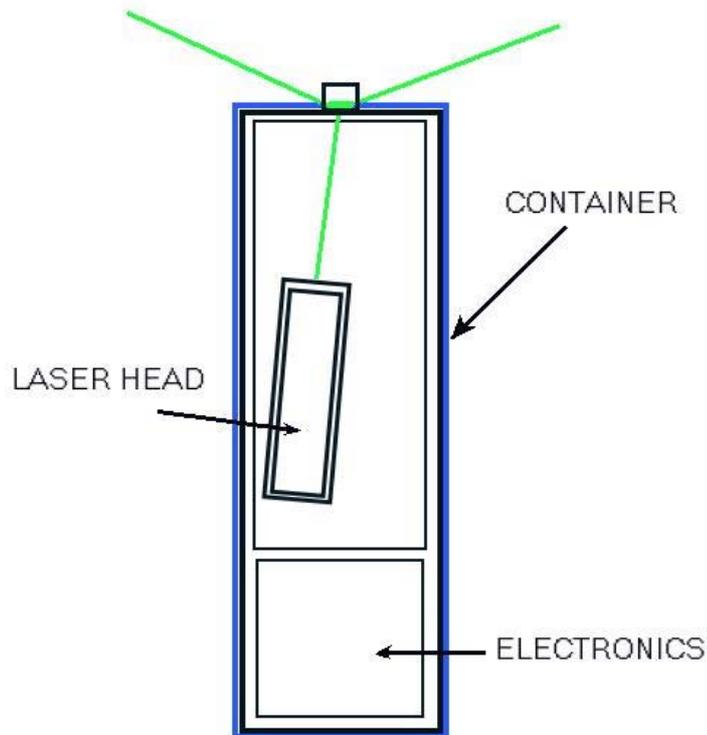


Figura 3-7. Disegno della posizione relativa del laser nel modulo Laser Beacon.

Il Laser Beacon, come gli altri avvisatori, permette di generare impulsi luminosi a comando e questo permette di verificare il funzionamento dei fotomoltiplicatori e di calibrare i segnali di clock, poiché è noto l'istante di emissione dell'impulso luminoso. Dunque, il sistema realizza un controllo in anello chiuso (figura 3-8): infatti il segnale ritorna attraverso la rivelazione dell'impulso luminoso emesso in acqua e realizza il ramo di retroazione. Per effettuare la calibrazione è necessario effettuare la rivelazione ed il confronto. Il primo compito è svolto da un ulteriore circuito ARS1, opportunamente modificato che deve essere presente in tutti i moduli (LCM, SCM) che comandano dispositivi Optical Beacon. Il secondo è realizzato nel centro calibrazione che ha sede nella shore station.

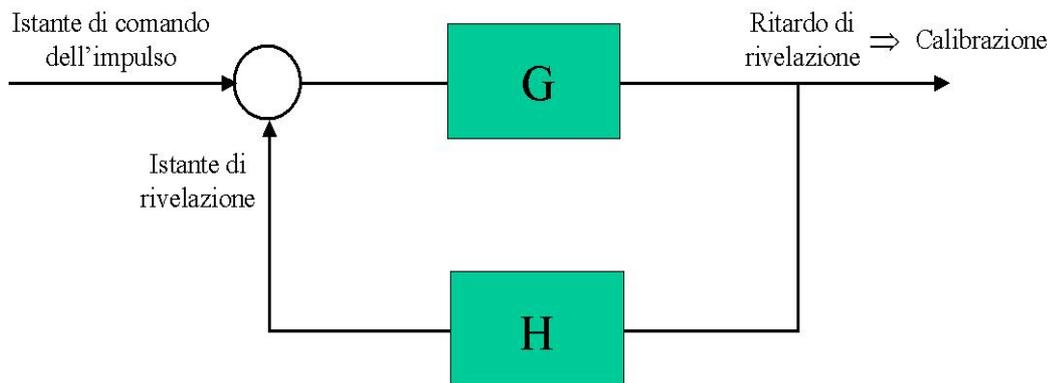


Figura 3-8. Controllo in anello chiuso effettuato dal sistema di calibrazione.

Dunque l'SCM contiene un circuito ARS1. La funzione di questo circuito è quella di convertire gli impulsi luminosi rilevati da un dispositivo PIN interno al Laser Beacon in informazioni memorizzate da trasmettere alla shore station [12]. Lo schema in figura 3-9 mostra il segnale T1 che fornisce la sequenza degli impulsi da emettere e il segnale DAT T2 rivelato dal PIN.

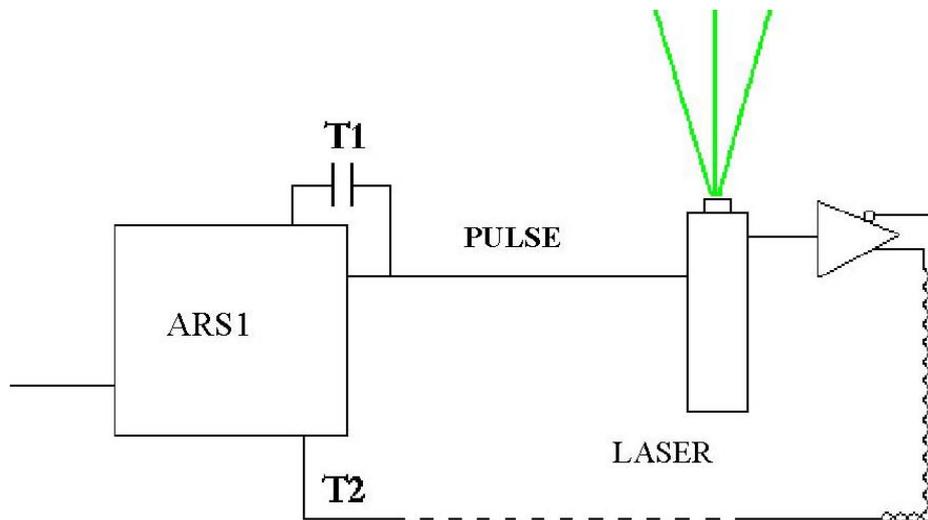


Figura 3-9. Schema a blocchi del sistema di acquisizione per la calibrazione nell'SCM.

La comunicazione dei segnali analogici attraverso lo standard Differential Analog Transmission (DAT) si realizza mediante l'utilizzo di 2

particolari circuiti integrati (Integrated Circuit - IC) MAX 4144 e MAX 4147 della compagnia MAXIM . La figura 10 mostra lo schema circuitale di questo collegamento.

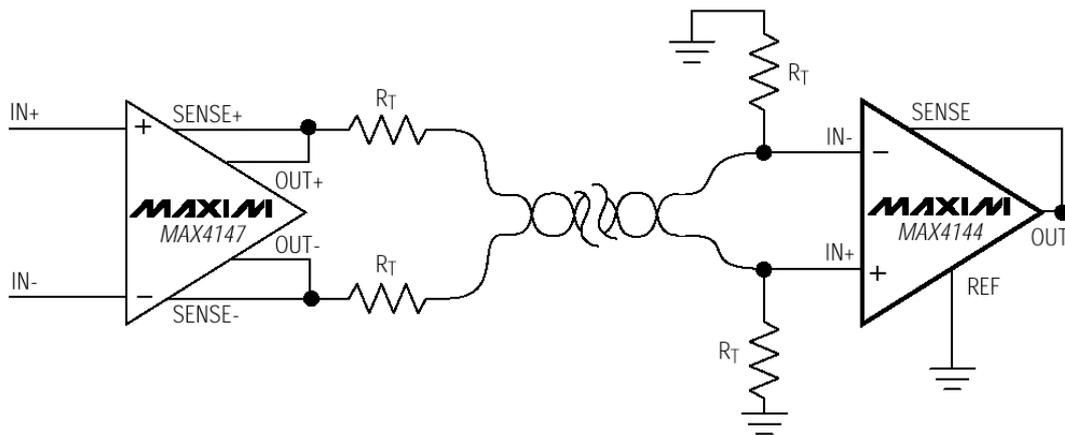


Figura 3-10. Schema circuitale del collegamento attraverso lo standard DAT.

Oltre ad occuparsi della calibrazione temporale, il modulo SCM ha un ruolo fondamentale nella calibrazione spaziale perché permette il controllo e il pilotaggio dei moduli esterni: Acoustic Transponder, Pressure Sensor e Sound Velocimeter e dei dispositivi interni: Tiltmeter e Compass.

L'Acoustic Transponder (figura 3-11) è un modulo che permette l'emissione e la ricezione di segnali acustici in acqua. Dunque il controllo e il pilotaggio di questo oggetto richiedono dispositivi elettronici, presenti nell'SCM che permettano la digitalizzazione di segnali analogici, il trasferimento dei dati acquisiti in tempo reale e il controllo dell'emissione.



Figura 3-11. Fotografia di 4 Acoustic Transponder.

Il Pressure Sensor è contenuto in un contenitore cilindrico in lega di titanio. I dispositivi che consentono la lettura della pressione misurata sono compresi tra quelli che gestiscono l'Acoustic Transponder presenti nel modulo SCM.

Anche il Sound Velocimeter è contenuto in un contenitore cilindrico in lega di titanio, mostrato in figura 3-12, mentre l'acquisizione dei dati misurati viene effettuata da ulteriori dispositivi elettronici presenti nell'SCM.

Tiltmeter e Compass invece sono direttamente inseriti all'interno del modulo SCM. La figura 3-13 mostra la fotografia di entrambi i dispositivi e fornisce un'idea delle loro dimensioni[22].

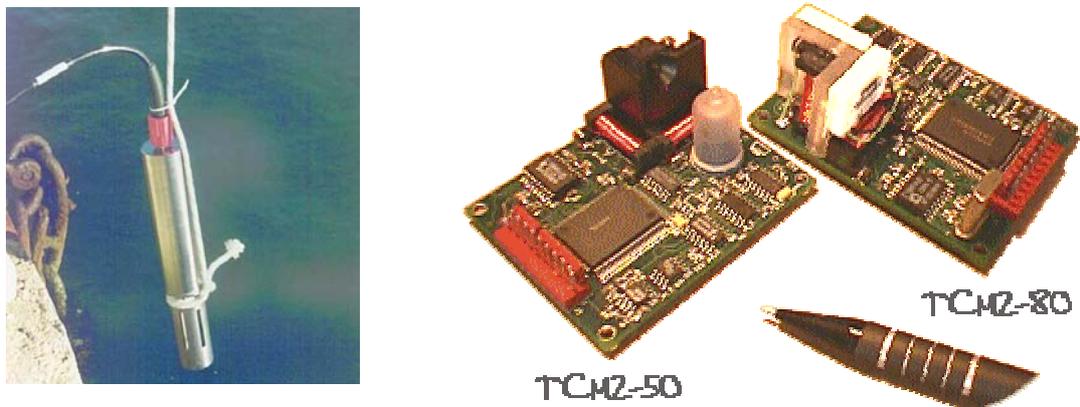


Figure 3-12 e 3-13. A sinistra fotografia di un sensore Sound Velocimeter. A destra fotografia dei dispositivi Tiltmeter (TCM 2-50) e Compass (TCM 2-80).

Poiché gli istanti di rivelazione dei segnali luminosi e sonori dipendono in modo critico dalla precisione del dispositivo di temporizzazione, entrambi i sistemi di rivelazione, presenti nel modulo SCM, dispongono dei segnali di clock provenienti dalla shore station [16].

### 3.5 Comunicazione su fibre ottiche

La struttura dei cavi EMC è stata descritta nel paragrafo 2.3. Tuttavia non tutte le fibre sono collegate al modulo SCM. Infatti 2 sono usate per comunicare tra i moduli MLCM e gli altri SLCM, e 1, tra quelle di trigger, è utilizzata per organizzare una struttura daisy chain tra gli storey di una stringa. Pertanto il modulo SCM dal lato stringa presenterà soltanto 18 connessioni. Possiamo, dunque, sintetizzare la situazione attraverso il disegno mostrato in figura 3-14.

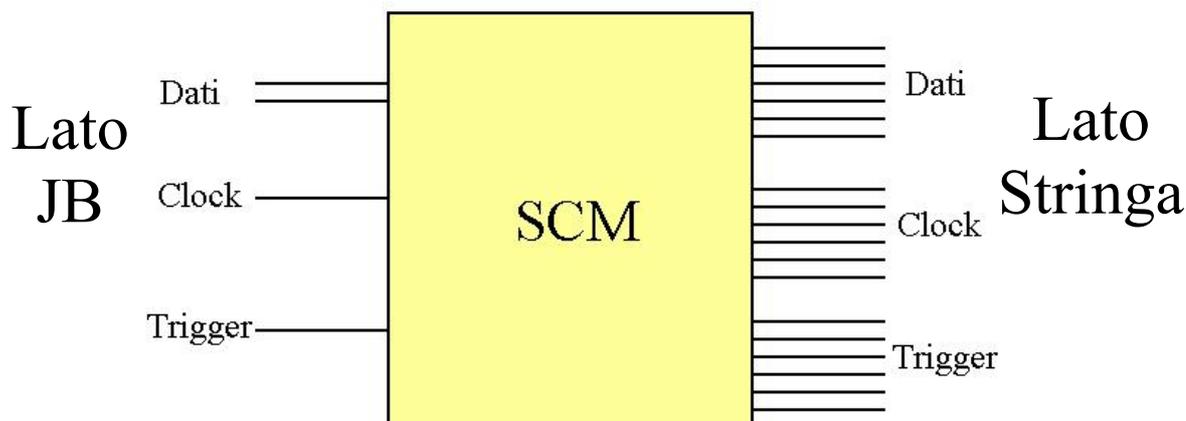


Figura 3-14. Fibre connesse con l'SCM.

Dunque è possibile dedurre che alle funzioni menzionate occorre aggiungere anche quelle di distribuzione dei segnali di trigger e di clock. Infatti questi segnali dal lato JB provengono da 2 sole fibre (1 per il trigger + 1 per il clock) e devono essere distribuite in 12 fibre (6 per il trigger + 6 per il clock).

Poiché i segnali di clock e i dati viaggiano lungo tutto il percorso che va dalla shore station fino ad ogni LCM (i segnali di trigger invece viaggiano solo tra la JB ed ogni LCM), si è deciso di utilizzare per questi segnali lunghezze d'onda che permettano di avere attenuazioni minime. Infatti, esaminando il diagramma di attenuazione di una tipica fibra  $\text{SiO}_2$  (in figura 3-15) in funzione della lunghezza d'onda, si possono notare 3 zone di minimo solitamente indicate rispettivamente con prima, seconda e terza finestra. In queste zone l'attenuazione è minore rispetto alle zone circostanti, ma tra le tre zone vi è differenza di attenuazione. In particolare la terza finestra, a cavallo della lunghezza d'onda 1550 nm presenta un'attenuazione inferiore a tutte.

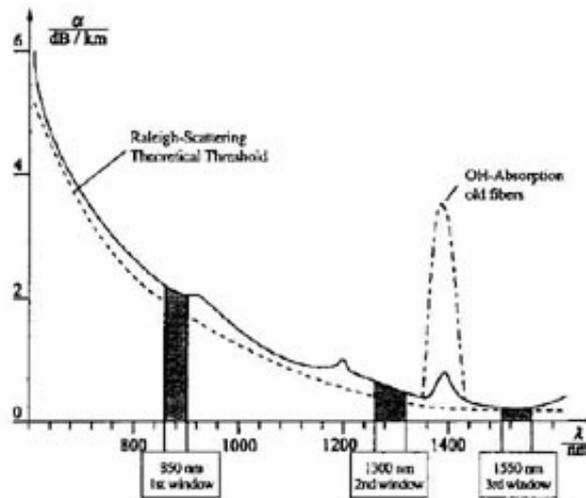


Figura 3-15. Diagramma di attenuazione di una tipica fibra in SiO<sub>2</sub>.

Ciò implica che utilizzando lunghezze d'onda vicine ai 1550 nm si può trasmettere lungo una fibra più estesa a parità di potenza ottica impiegata. Pertanto i segnali di clock e i dati che devono percorrere oltre 50 km, saranno trasmessi in terza finestra, mentre i segnali di trigger saranno trasmessi in seconda, cioè attorno ai 1310 nm.

Sono state effettuate delle prove per esaminare l'efficacia e le modalità di adozione delle fibre ottiche commerciali, in particolare è stato stabilito che le fibre utilizzate devono essere:

- monomodali (SMF – Single Mode Fiber). Infatti nelle fibre multimodali (MMF – Multi Mode Fiber) ogni modo eccitato trasporta l'energia con la propria velocità, e ciò provoca una dispersione intermodale. L'effetto della dispersione va a limitare così la capacità della trasmissione, espressa in bit al secondo per un segnale numerico o in Hz per un segnale analogico [23];

- NZDS (Non-Zero Dispersion-Shifted), cioè ottimizzate per spostare il punto della dispersione zero fuori della fascia di 1550 nm (come invece accade per le ZDSF, Zero Dispersion-Shifted Fiber). Questo è dovuto al miglioramento della tecnologia che aprirà la fascia di 1600 nm, la cosiddetta quarta finestra [24].

Il limite massimo nell'immissione di potenza ottica è stabilito in 7 mW per cui le potenze assunte per i laser che iniettano potenza ottica dentro le fibre sono di +3 dBm mentre per i ricevitori sono -25dBm [25].

In definitiva le fibre scelte sono descritte in tabella 3-1, insieme alle loro principali caratteristiche [26]:

	SMF (Single Mode Fibre) ITU-T G.652	PSC (Pure Silica Core) ITU-T G.654
Finestra operativa	1530-1570 nm	1535-1570 nm
Lunghezze d'onda di cut-off	1190-1630 nm	1300-1600 nm
Dispersione cromatica	< 18.5 ps/nm km	< 21 ps/nm km
Diametro del core	9.5-11.5 $\mu\text{m}$	9.5-11.5 $\mu\text{m}$
Attenuazione	0.2 dB/km	0.182 dB/km
Lunghezza	~ 1 km	~ 50 km
Numero di fibre	4 .. 21	48

Tabella 3-1. Principali caratteristiche delle fibre utilizzate.

Anche le lunghezze d'onda sono state fissate, ed è stata scelta una spaziatura minima tra le lunghezze d'onda centrali di  $200 \text{ GHz}^2$ . Corrispondente a circa  $1.6 \text{ nm}$ . La tabella 3-2 mostra le 14 lunghezze d'onda dei 7 canali visti, con un ulteriore canale disponibile. Ciò è dovuto alla standardizzazione dei dispositivi commerciali che prevedono 8 canali. Le lunghezze d'onda dell'ulteriore canale sono state scelte utilizzando le stesse del segnale di clock, ma questo canale è per il momento ridondante [12].

	Dalla shore station (nm)	dalla stringa (nm)
MLCM – 6	1560.6	1546.1
MLCM – 5	1559.0	1544.5
MLCM – 4	1557.4	1542.9
MLCM – 3	1555.7	1541.3
MLCM – 2	1554.1	1539.8
MLCM – 1	1552.5	1538.2
SCM	1550.9	1536.6
Ridondante	1549.3	1535.0

Tabella 3-2. Elenco delle lunghezze d'onda utilizzate nella trasmissione DWDM.

Lo schema di figura 3-16 descrive sinteticamente il meccanismo di

---

<sup>2</sup>  $f_2 - f_1 = \frac{f_1}{\lambda_2} \cdot (\lambda_2 - \lambda_1)$ , dove  $f_2$  e  $\lambda_2$  sono frequenza e lunghezza d'onda maggiori mentre  $f_1$  e  $\lambda_1$  sono frequenza e lunghezza d'onda minori.

trasporto dei dati attraverso l'utilizzo del DWDM. Due fibre connettono la shore station con i due dispositivi Mux/Demux DWDM contenuti nel modulo SCM, dopo aver attraversato la JB. Il Multiplexer DWDM è utilizzato per i dati che partono dalla stringa e dall'SCM, il Demultiplexer per i dati che arrivano dalla shore station. Entrambi i dispositivi, come già visto, presentano 8 canali.

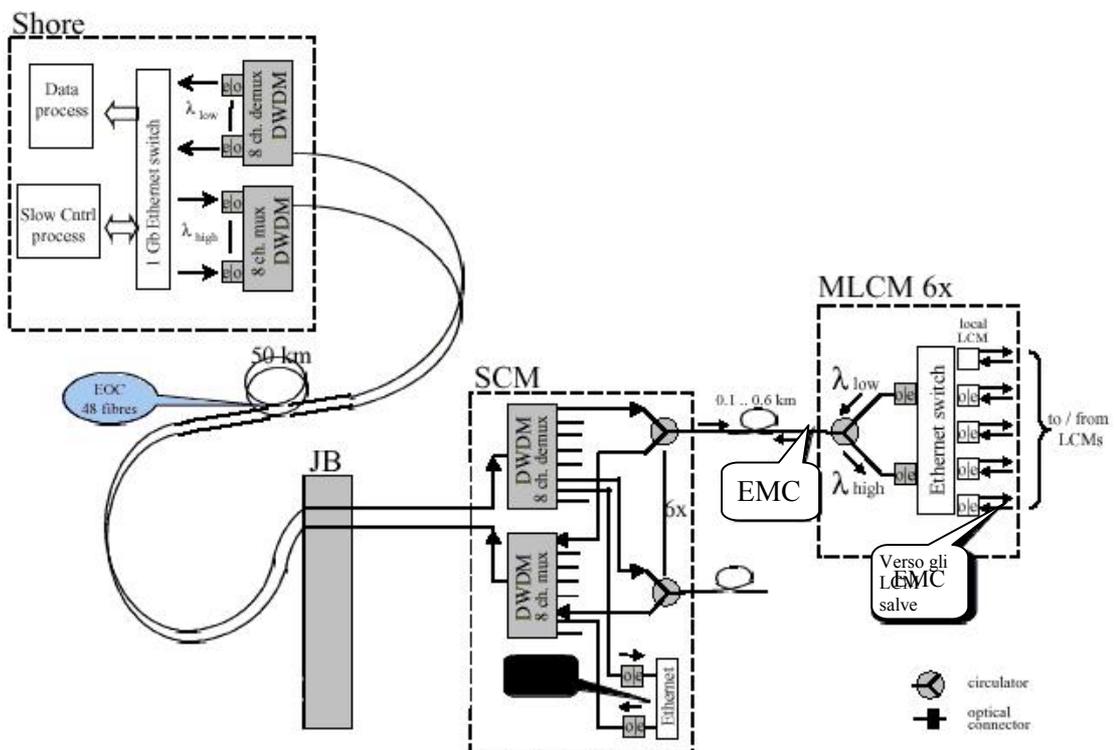


Figura 3-16. Schema del funzionamento del sistema di trasmissione dati.

La comunicazione dei dati tra MLCM e SCM, avviene con un'unica fibra per settore. Quindi nell'SCM occorre convogliare i due flussi di dati (da e verso ogni MLCM) in una sola fibra. Questa funzione è ottenuta attraverso un componente ottico completamente passivo chiamato circolatore, il cui simbolo è rappresentato in figura. Questo dispositivo presenta su un lato una sola porta e sull'altro due. Dal lato che ha una sola porta provengono le lunghezze d'onda

trasportate dalla fibra, mentre dal lato con 2 porte i segnali vengono suddivisi in due flussi: le lunghezze d'onda maggiori di un certo valore vengono indirizzate verso una porta, quelle minori nell'altra. Il dispositivo permette il funzionamento in ambedue le direzioni.

In figura 3-16 è anche possibile notare, che nel blocco SCM, 2 terminali provenienti dai dispositivi Mux/Demux DWDM terminano verso una scheda Ethernet che comunica con protocollo TCP/IP.

Passando al modulo MLCM si può osservare un circolatore che svolge la stessa funzione di quello presente nell'SCM. Il flusso di informazioni proveniente dai 4 moduli SLCM viene aggiunto al quinto indicato con 'local LCM' per mezzo di una scheda Ethernet switch che permette di convogliare i 5 flussi da 100 Mbit/s massimi, in un flusso da 1 Gbit/s. Successivamente il flusso totale viene suddiviso in entrante e uscente dal circolatore prima descritto.

Un punto fondamentale, che ha contribuito a delineare il progetto del sistema di trasmissione dei dati di tutto il rivelatore, è costituito dai blocchi che vengono indicati in figura con O|E. Questi blocchi descrivono la funzione di conversione dei segnali ottici in segnali elettrici o viceversa. In particolare il tipo di conversione è indicata dalla freccia attinente nella stessa figura.

La conversione da segnali ottici a segnali elettrici avviene tramite alcuni rivelatori costituiti da diodi PIN polarizzati che modificano le loro proprietà elettriche in funzione della radiazione incidente. Questi componenti hanno la proprietà importante di non essere selettivi sulla lunghezza d'onda incidente, quindi è possibile utilizzare lo stesso tipo di componente nei vari moduli; però

occorre fare attenzione nel collegare loro, fibre con un'unica lunghezza d'onda.

La conversione da segnali elettrici a segnali ottici è realizzata da sorgenti di potenza ottica, che come è stato possibile notare devono produrre radiazione a diverse lunghezze d'onda a seconda della loro funzione specifica. In questo progetto è previsto solo l'utilizzo di sorgenti laser. I laser in commercio possono essere di due tipi: a lunghezza d'onda fissa o variabile. Tuttavia i secondi (tunable laser), sebbene più versatili dei primi, sono molto più costosi; pertanto si è concordato l'utilizzo di sorgenti laser a lunghezza d'onda fissa.

Vista la notevole importanza di questo particolare punto del progetto ANTARES e le implicazioni sulla comprensione delle funzionalità del modulo SCM, ho dedicato parte del tempo speso in questo lavoro di tesi nella ricerca di informazioni sui dispositivi laser. Risultati di quest'analisi sono stati una discreta conoscenza di questi dispositivi e delle loro caratteristiche e una maggiore comprensione delle motivazioni che hanno condotto i progettisti del rivelatore a scegliere determinate soluzioni. In particolare si è potuta constatare una forte variazione del costo dei dispositivi laser, a seconda della potenza ottica emessa e delle lunghezze d'onda trasmesse. Infatti, dispositivi laser di bassa potenza e di lunghezze d'onda standard risultano essere molto economici rispetto a dispositivi laser con lunghezze d'onda meno standardizzate e potenze ottiche di emissione maggiori. Le lunghezze d'onda generalmente più utilizzate sono al centro della seconda e terza finestra, rispettivamente 1310 e 1550 nm.

In commercio esistono anche economici dispositivi che utilizzano queste lunghezze d'onda, formati da un diodo laser e un ricevitore PIN integrati insieme.

Il nome di questi dispositivi è BIDI perché permettono la comunicazione in ambedue le direzioni attraverso un'unica fibra.

I progettisti di ANTARES hanno dunque realizzato attorno a questi dispositivi un'interfaccia elettronica che permette di realizzare una comunicazione bidirezionale attraverso segnali di comunicazione standard quali LVPECL, a costi molto contenuti. A questa interfaccia è stato dato il nome di BIDIANT. In figura 3-17 è possibile vedere la fotografia di un prototipo.

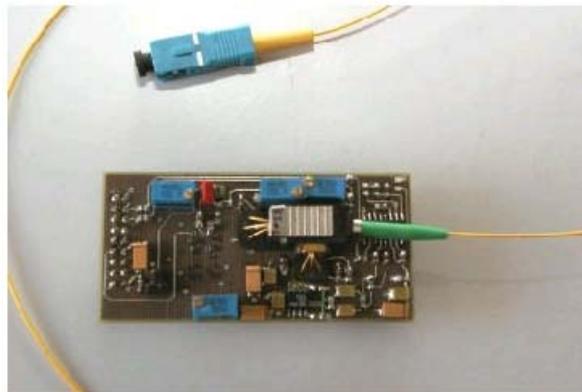


Figura 3-17. Fotografia del prototipo di un BIDIANT.

In particolare sono stati realizzati 3 tipi diversi di BIDIANT (BIDIANT 1, BIDIANT 2 e BIDIANT 3) le cui caratteristiche più importanti sono mostrate in tabella [27]. Si è deciso di utilizzare questo trasmettitore/ricevitore (transceiver) per ogni comunicazione dei segnali di trigger, di clock e di dati, qualora non fossero richieste caratteristiche DWDM.

	BIDIANT1	BIDIANT2	BIDIANT3
Lunghezza d'onda in trasmissione (nm)	1310	1310	1550
Lunghezza d'onda in ricezione (nm)	1310	1550	1310
Potenza ottica emessa (dBm)	-3	-3	-3
Potenza ottica minima in ricezione (dBm)	-20	-23	-23
Formato digitale I/O	LVPECL	LVPECL	LVPECL
Consumo di potenza	150 mA @ 3.3 V	150 mA @ 3.3 V	150 mA @ 3.3 V

Tabella 3-3. Caratteristiche più importanti delle interfacce BIDIANT.

In particolare questi dispositivi permettono la comunicazione:

- dei segnali di trigger (nel modulo JB e in tutti gli SLCM e MLCM)
- dei segnali di clock (in tutti i moduli SCM, SLCM e MLCM)
- dei dati (in tutti i moduli SLCM e MLCM nelle loro fibre dedicate)

Poiché il numero dei moduli è discretamente elevato (~ 500), considerare la questione anche dal punto di vista del fattore costo, appare fondamentale.

### 3.6. Clock

Poiché il diodo laser contenuto nel componente BIDI emette una potenza ottica relativamente bassa, la trasmissione del segnale di clock, che proviene dalla shore station, non avverrà tramite l'utilizzo del transceiver BIDIANT [19], ma avverrà utilizzando dispositivi laser più potenti e quindi più costosi. Per limitare il numero dei laser necessari si è stabilito di effettuare una conversione intermedia, in modo tale da poter utilizzare i BIDIANT su tutti gli LCM slave e master per la trasmissione dei segnali clock. Si è preferito effettuare la conversione nei moduli SCM, in quanto, il modulo JB contiene per la maggior parte dispositivi passivi, in modo da incrementarne l'affidabilità. In particolare il modulo JB contiene un dispositivo completamente passivo, uno 'splitter' (figura 3-18) che divide la potenza ottica proveniente dalla shore station sulla linea di clock in 16 parti (una per ciascuna stringa).

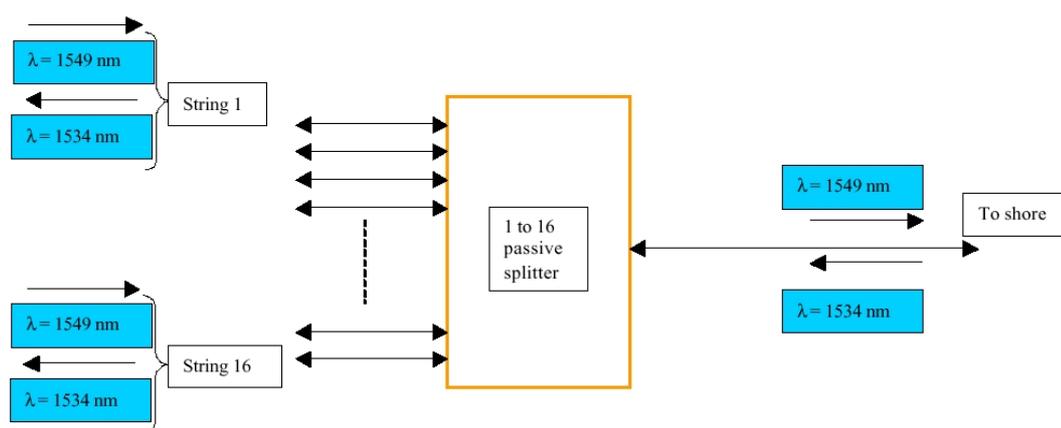


Figura 3-18. Schema di funzionamento del clock nella JB.

Nel modulo SCM i segnali di clock che arrivano vengono convertiti da un dispositivo PIN e vengono ritrasmessi attraverso 6 trasceiver BIDIANT verso i 6 settori della stringa, come mostra lo schema della figura 3-19.

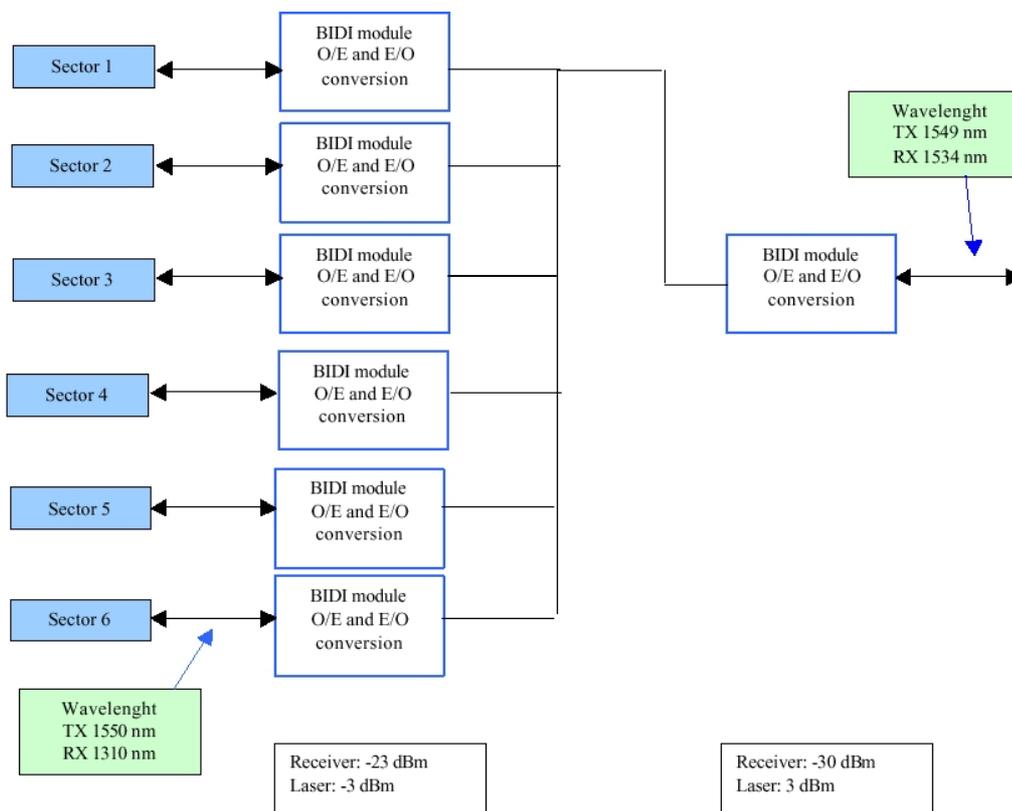


Figura 3-19. Schema di funzionamento del clock nell'SCM.

Poiché la trasmissione del clock contempla la possibilità di inviare comandi e ricevere dati da tutti i moduli LCM e SCM, la trasmissione è bidirezionale, pertanto l'SCM contiene un laser analogo a quello presente nella shore station.

Le lunghezze d'onda per la trasmissione del clock sono 1549.3 nm dalla shore station verso l'SCM e 1535 nm in direzione opposta, mentre le lunghezze d'onda utilizzate tra SCM e ogni LCM sono 1550 nm e 1310 nm come appare nelle figure 3-20 e 3-21.

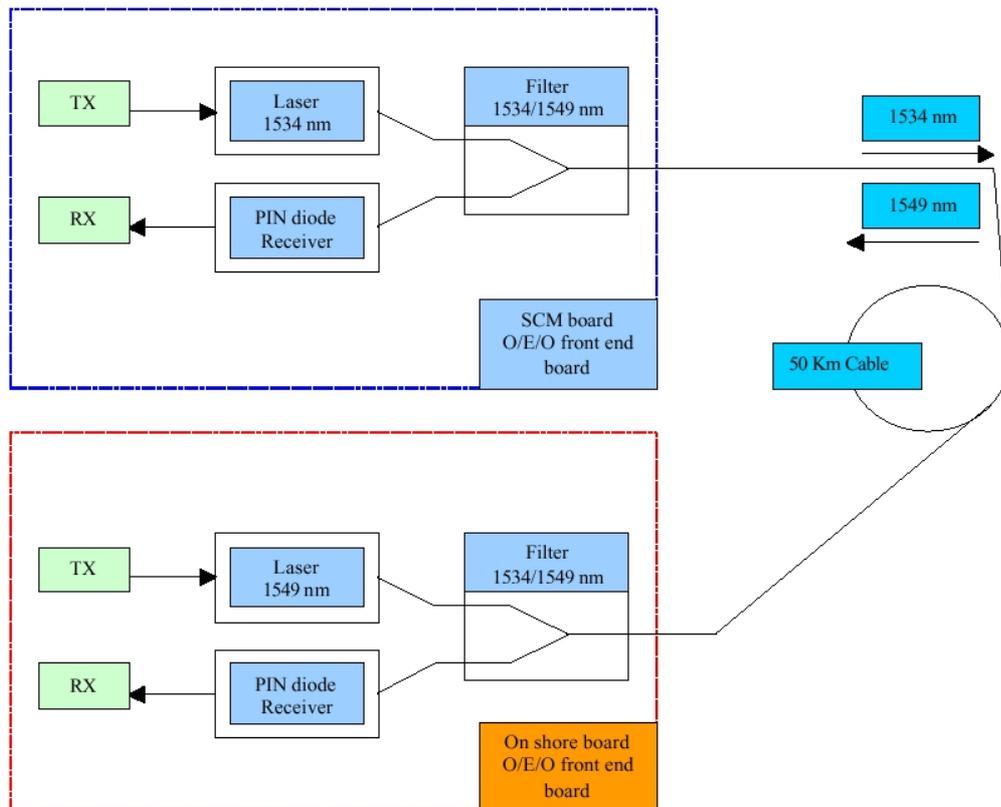


Figura 3-20. Schema di funzionamento della trasmissione del clock tra SCM e shore station.

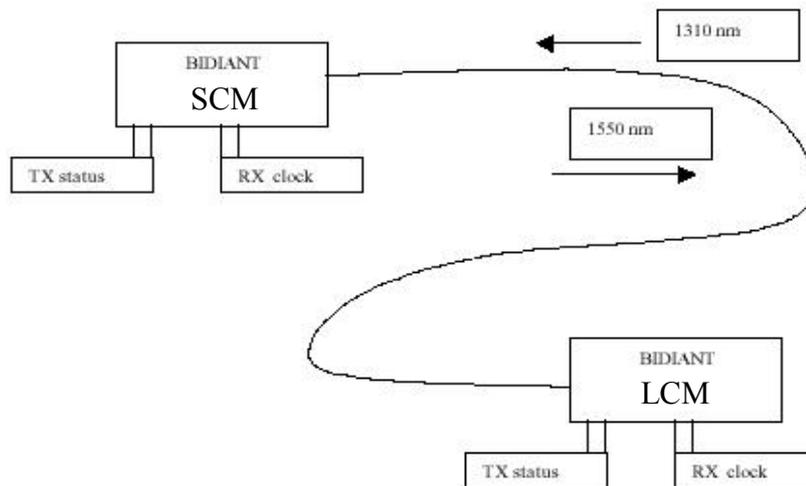


Figura 3-21. Schema di funzionamento della trasmissione del clock tra SCM e LCM.

Come già accennato nel capitolo II, la trasmissione dei dati sul clock avviene attraverso una modifica della periodica sequenza di impulsi. Questo

procedimento è abbastanza collaudato: infatti esistono dispositivi commerciali che forniscono la sequenza degli impulsi da inviare e permettono di ricavare i dati da una sequenza di impulsi ricevuti. In ANTARES, i circuiti scelti per assolvere rispettivamente il primo e secondo compito descritto sono il Serialiser CY7B923 e il Deserialiser CY7B933 della compagnia HOTLINK. Nella figura 3-22 è possibile osservare la descrizione mostrata della scheda di clock utilizzata per i moduli LCM. La scheda che permette l'estrazione del clock nel modulo SCM differisce da quella rappresentata in figura nell'utilizzo di un transceiver appropriato, in luogo del BIDI. Sulla scheda è presente un componente EPLD (Electrically Programmable Logic Device) che permette di decodificare i dati ricevuti e di codificare i dati da trasmettere in semplici comandi. Un processore chiamato UNIV1 permette l'integrazione con il meccanismo dello SC [19].

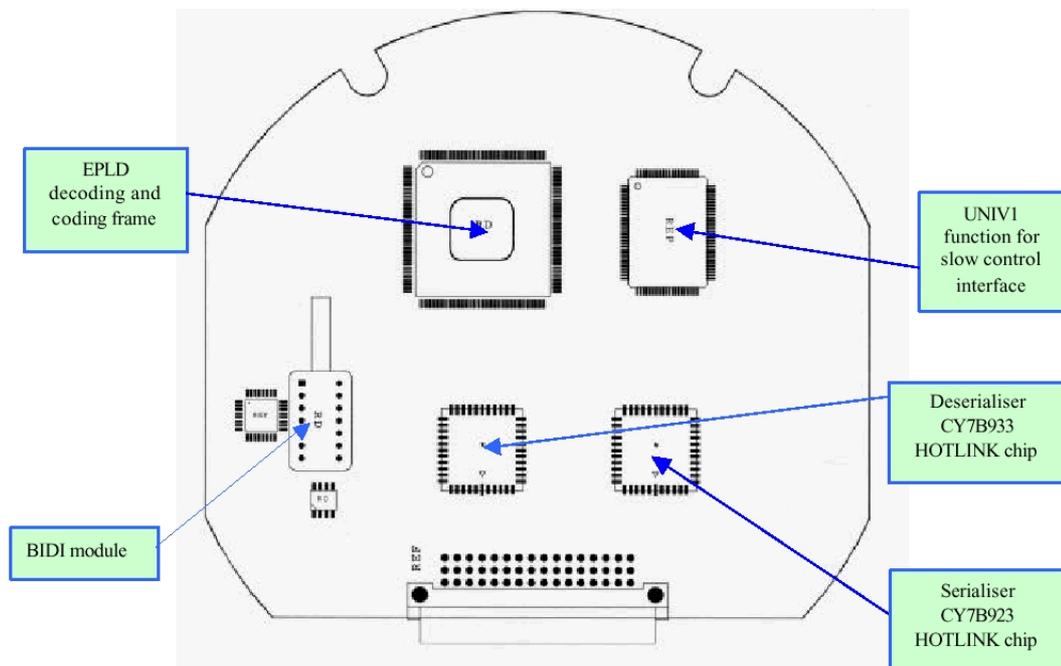


Figura 3-22. Disegno della scheda di clock del modulo LCM.

Come riportato in precedenza i segnali di clock nell'SCM sono utilizzati per ottenere una corretta temporizzazione dei segnali analogici (luminosi e acustici) provenienti dal Laser Beacon e dall'Acoustic Transponder, pertanto i segnali di clock sono distribuiti verso l'ARS1 e verso i dispositivi elettronici che permettono l'acquisizione e il pilotaggio dei segnali acustici.

Descriviamo brevemente il semplice protocollo che permette la comunicazione attraverso il segnale del clock: quando si trasmette un comando dalla shore station in realtà si trasmette una 'frame' di 4 byte. I primi tre forniscono l'indirizzo del modulo e il comando trasmesso. Il quarto contiene un CRC (Cyclic Redundancy Check) cioè un controllo ciclico di ridondanza. Questa tecnica è usata per la rilevazione degli errori durante la trasmissione dati fra stazioni di comunicazione. La stazione trasmittente, prima di inviare un blocco di dati, esegue alcune operazioni sul blocco di dati ed inserisce il risultato delle operazioni nel blocco stesso. Il ricevente esegue di nuovo le stesse operazioni di controllo e se il risultato non è lo stesso chiede la ritrasmissione del blocco [28].

Il significato dei primi 3 byte (dai bit 23 a 0) è descritto nelle tabelle 3-4 e 3-5 e nelle tabelle seguenti.

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
A/BR	Indirizzo linea				A/BR	Indirizzo Settore			A/BR	Indirizzo piano		CS/F	C0	C1	

Tabella 3-4. Primi 2 byte della frame.

7	6	5	4	3	2	1	0
ASR3	ARS2	ARS1	ARS led	DAQ	Acoustic	TRIG	Status

Tabella 3-5. Terzo byte della frame.

L'indirizzamento dei comandi di clock individua 3 modi di funzionamento. Il primo è il modo normale, nel quale si invia l'indirizzo di linea, settore e piano. In questa modalità tutti i bit A/BR sono posti a 1. Il secondo è il modo broadcast dove sono interessati tutti i moduli MLCM, SLCM e SCM cioè tutte le linee, i settori e i piani. La sequenza di questo modo di indirizzamento è 0 per tutti gli A/BR, mentre gli tutti altri bit delle linee, dei settori e dei piani sono posti a 1. L'ultimo modo di indirizzamento è il modo broadcast con l'utilizzo dello SC. In questo caso i bit A/BR sono posti a 0 mentre il primo e l'ultimo bit degli indirizzi delle linee, dei settori e dei piani sono 1 e i rimanenti bit sono posti a 0 (1001 oppure 101). In quest'ultimo modo di indirizzamento tutti i moduli ricevono dallo SC delle maschere di dati schematizzati come quello mostrato in tabella 3-6. La tabella mostra ad esempio una maschera nel quale sono interessati tutti i circuiti ARS del modulo in esame. I moduli non interessati ricevono maschere tutte nulle.

	ARS3	ARS2	ARS1	ARS_LED	DAQ	ACOUST	TRIG	EM/STA
C0	1	1	1	1	0	0	0	0
C1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 3-6. Dati trasmessi attraverso lo SC.

I tipi di comandi inviati dipendono dai bit CS/F, C0 e C1 presenti nel secondo byte della frame come mostra la tabella 3-4. In particolare se CS/F è posto a 1, i comandi sono quelli riportati sotto in tabella 3-7. La prima colonna della tabella 3-7 presenta i sistemi comandati, pertanto a seconda del sistema scelto viene eseguito un comando differente. Infatti i bit C1 e C0 non possono codificare i 14 possibili comandi inviabili, mentre se è noto il sistema il cui

comando è indirizzato i due bit (C0 e C1) possono indicare il verificarsi del primo comando (C0 =1 e C1=0) o del secondo (C0 =0 e C1=1) oppure di tutti e due contemporaneamente (C0 =1 e C1=1). La selezione dei sistemi indirizzati è mostrata in tabella 3-5. Se invece il bit CS/F è posto a 0 è possibile associare altri 256 comandi che non sono stati ancora scelti [19]. In figura 3-23 è schematizzato il circuito che svolge la selezione dei comandi.

	C1	C0	Commento
3 ARSx	Abilita EN_ARSx	Reset RST_ARSx	Abilita/disabilita o resetta il funzionamento degli ARS di acquisizione
1 ARS_led	Abilita EN_ARSLB	Reset RST_ARSLB	Abilita/disabilita o resetta il funzionamento dell'ARS beacon
1 DAQ	Abilita EN_DAQ	Reset RST_DAQ	Abilita/disabilita o resetta il funzionamento di trasmissione e ricezione dati
System Acoustic	Reset1 RST_ACOUS	Reset2 RST_ACOUS	Reset lento o veloce del Acoustic System
Trigger	Abilita EN_TRIG	Pulse EN_TRIG	Abilita/disabilita o richiede un impulso alla funzione di trigger
Status	Abilita EN_EMISS	Status EN_STATUS	Abilita/disabilita il collegamento con la shore station o richiede lo status

Tabella 3-7. Elenco di alcuni comandi che è possibile inviare attraverso il segnale di clock.

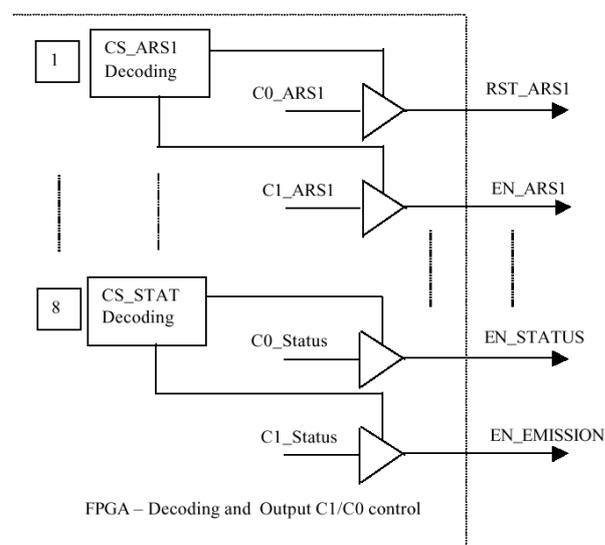


Figura 3-23. Schema di funzionamento dei comandi nel clock.

### **3.7. Trigger**

Poiché i segnali di trigger non sono richiesti nel modulo SCM, il loro passaggio avviene senza alcuna trasformazione attiva, e ciò allo scopo di migliorare l'affidabilità. Dunque l'SCM si limita a ripartire la potenza ottica proveniente dalla JB e a instradarla verso 6 direzioni (una per ciascun settore). Questa divisione passiva avviene con l'utilizzo di uno splitter che realizza due funzioni: di divisore dalla JB verso la stringa e una funzione di OR nella direzione opposta. La lunghezza d'onda usata per i segnali di trigger è pari a 1310 nm.

### **3.8 DAQ/SC**

Il sistema di gestione dei dati è indicato con DAQ (Digital AcQuisition). In precedenza ne è stato descritto il meccanismo di trasmissione attraverso il DWDM, e si è anche accennato all'utilizzo delle porte Ethernet e del protocollo TCP/IP nello scambio dei dati.

Stabilito il flusso di dati medio atteso sono stati scelti dispositivi di comunicazione Ethernet a 100 Mbit/s per i moduli SLCM e a 1 Gbit/s per gli MLCM. I primi si indicano come Fast Ethernet o più precisamente: 100 BASE – TX dove 100 sta per il numero di Mbit trasmessi in un secondo e TX sta per trasmissione attraverso doppino (twisted pair) [30]. I secondi si indicano come Giga Ethernet o 1000 BASE – T. La conversione in segnali ottici è realizzata



Cuore della complessa architettura è la presenza del processore Motorola MPC860P, un processore RISC<sup>3</sup> (Reduced Instruction Set Computer) a basso consumo. Accanto al processore c'è un dispositivo FPGA (Field Programmable Gate Array) ad alta densità che realizza un controllore di lettura (Readout) per ARS denominato RARS. Il CPU bus rappresentato nella figura permette l'acquisizione dei dati dall'ARS grazie a due memorie: Flash Memory e SDRAM Memory, che permettono di assorbire le fluttuazioni temporali nell'arrivo dei dati. Infatti, l'arrivo dei dati fisici è casuale mentre il trattamento avviene a tasso fisso [14]. In basso nella figura sono rappresentate numerose connessioni attraverso la scheda elettronica di backplane che realizza tutte le connessioni necessarie alle varie schede.

Tra le connessioni realizzate nel backplane c'è ne sono alcune molto importanti. In particolare ci sono tre bus seriali che permettono di collegare un buon numero di dispositivi (Acoustic Transponder, idrofoni, Led e Laser Beacon, SPM, Pressure Sensor e Sound Velocimeter, Tiltmeter, Compass ecc.) alla scheda di DAQ. Infatti, utilizzando un twisted pair, standard RS485, con protocollo MODBUS è possibile realizzare un bus con un unico Master che gestisce la connessione. Il ruolo del master è svolto proprio dal processore Motorola MPC860P che raccoglie i dati da tutti i dispositivi e li trasmette alla shore station.

Un altro strumento molto utilizzato realizzato dai progettisti di ANTARES è il già citato circuito UNIV1. Questo circuito contiene il processore

---

<sup>3</sup> Un tipo di microprocessore che riconosce un numero limitato di istruzioni. I vantaggi dei processori RISC includono una velocità più grande e (dal momento che i processori di RISC hanno bisogno di meno transistori) costi più bassi di costruzione e progetto.

PIC17C756 e permette di svolgere una grande quantità di funzioni. In particolare permette di realizzare la comunicazione attraverso il bus seriale prima descritto, per un massimo di 16 slave UNIV1 collegati da connessioni standard RS485. Ogni UNIV1 contiene 12 Convertitori Analogici-Digitali (ADC) a 10 bit, 2 Convertitori Digitali-Analogici (DAC) a 12 bit, 16 ingressi/uscite digitali [30]. Con questo circuito è possibile il controllo e la lettura, attraverso opportuni sensori, di molte grandezze, quali ad esempio temperatura, umidità, tensione, corrente, ecc. In figura 3-25 è possibile osservare la foto di uno di questi dispositivi.



Figura 3-25. Fotografia di un circuito UNIV1 in entrambi i lati.

### **3.9. Schema a blocchi dell'SCM**

Come già accennato in precedenza, l'obiettivo del lavoro di tesi è la progettazione di un banco di prova per il modulo SCM. L'accuratezza posta in questa progettazione dipende in modo critico dalla conoscenza particolareggiata della struttura e del funzionamento del modulo oggetto di test, così come dell'intero apparato. Necessariamente quindi parte del lavoro di tesi è stato

dedicato alla messa a punto di uno schema a blocchi dell'SCM quanto più dettagliato e completo possibile. Le descrizioni contenute in questo capitolo e nel precedente, insieme alle informazioni che hanno permesso la stesura del diagramma a blocchi sono state ricavate da documenti prodotti nei centri di ricerca responsabili delle varie parti del rivelatore e da richieste di informazioni fatte personalmente ai vari responsabili. I documenti e le risposte più circostanziate sono molto recenti, pertanto lo schema a blocchi è stato più volte oggetto di modifiche ed arricchimenti e non può ancora essere considerato come definitivo. Il diagramma a blocchi è mostrato in figura 3-26.

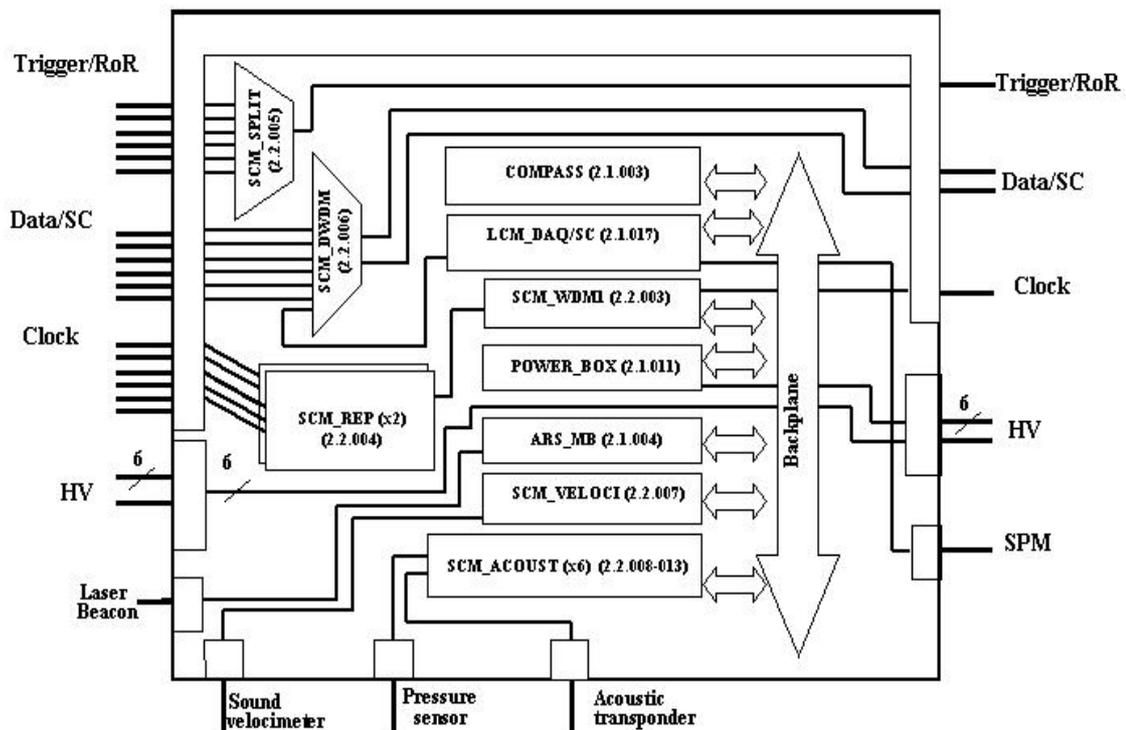


Figura 3-26. Schema a blocchi del modulo SCM.

I nomi e i numeri identificativi degli oggetti mostrati in figura 3-26 sono

in accordo allo schema generale introdotto recentemente in ANTARES [16].

Tutte le connessioni ottiche e elettriche vengono effettuate in una parte del modulo SCM chiamata SCM\_OPTCON, posta in alto al modulo (vedi figura 3-27).



Figura 3-27. Fotografia dell'SCM aperto ad evidenziare le connessioni ottiche con la SCM\_OPTCON.

Il blocco che permette l'alimentazione proveniente dall'SPM è indicato con POWER\_BOX.

Come detto il modulo SCM contiene delle schede elettroniche di forma quasi circolare, poste trasversalmente all'asse del cilindro. Ogni scheda è connessa al backplane attraverso connettori che possono presentare 96, 48 o 24 contatti ciascuno. Con riferimento alla figura 3-28, qui segue l'elenco delle 16 schede connesse nell'ordine dall'alto verso il basso.

Appena sotto il blocco POWER\_BOX sono posizionate 6 schede indicate con SCM\_ACOUST6 ... SCM\_ACOUST1 (rispettivamente), il cui compito è di acquisire i segnali acustici rilevati, i segnali sonori da emettere, fornire il valore della pressione idrostatica attraverso il sensore di pressione e trasmettere i dati

acquisiti alla scheda di acquisizione [31].

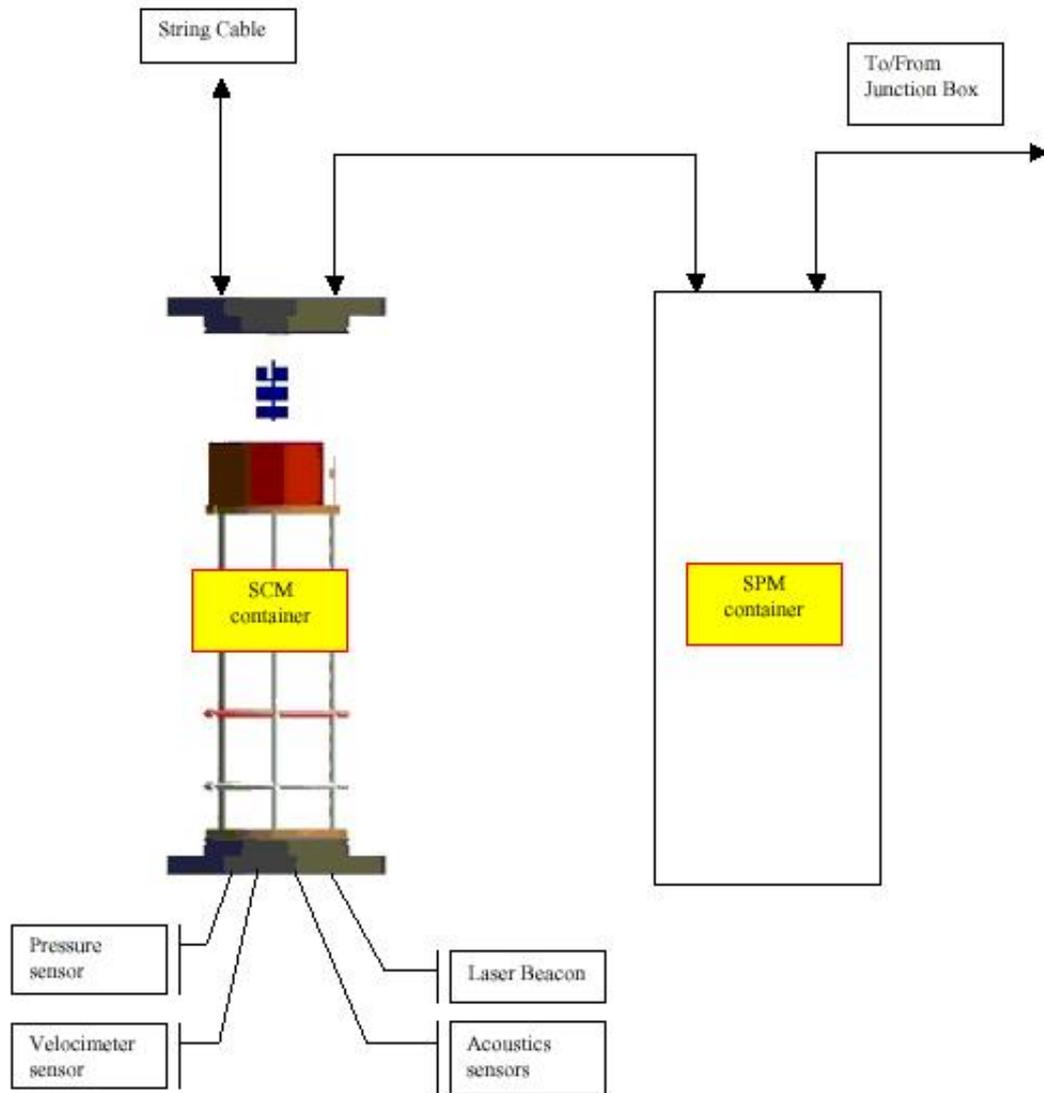


Figura 3-28. Schema delle connessioni del modulo SCM.

In particolare le 6 schede sono così suddivise:

- 1 scheda CPU usata per comunicare con lo standard RS485 con la scheda DAQ/SC;
- 2 schede DSP sono usate per rivelare i segnali acustici e per fornirne una

temporizzazione accurata;

- 1 scheda per preamplificare il segnale del trasduttore acustico prima di inviarlo alle 2 schede DSP (Digital Signal Processing).
- 1 scheda usata per controllare l'alimentazione
- 1 scheda per controllare l'emissione dei segnali.

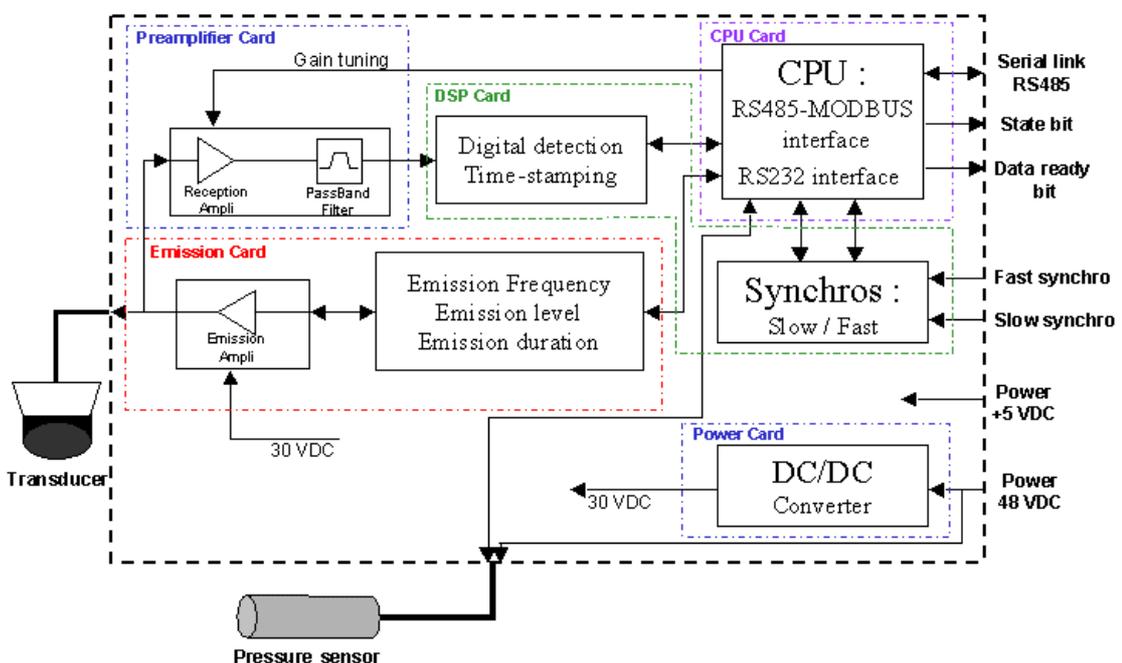


Figura 3-29. Schema a blocchi semplificato che descrive il funzionamento del sistema di emissione e ricezione degli impulsi sonori e dei valori di pressione.

La sintesi di questa organizzazione è schematizzata in figura 3-29 [22].

Queste 6 schede sono connesse al backplane attraverso un connettore a 48 contatti, mentre l'Acoustic Transponder e il Pressure Sensor sono connessi all'SCM con contatti speciali stagni, il primo con 3 contatti e il secondo con 6.

A seguire vi è la scheda indicata con SCM\_VELOCI che realizza l'interfaccia con il sensore misuratore di velocità. Questa scheda permette la

conversione dello standard RS232 con cui comunica con il sensore nello standard RS485 con cui comunica con la scheda di DAQ/SC. Il collegamento con il sensore avviene tramite 2 coppie di conduttori avvolti in un cavo resistente all'acqua. Una coppia è necessaria per l'alimentazione e una per la comunicazione seriale.

Nell'SCM sono quindi presenti due schede identiche indicate entrambe come SCM\_REP: queste schede permettono la ripetizione del segnale di clock verso tutti i settori della stringa mediante dispositivi BIDIANT.

Queste schede sono direttamente collegate alla scheda successiva, SCM\_WDM1, che permette la ricezione, codifica e distribuzione del segnale di clock. Poiché questa scheda riceve il clock e i comandi ad esso associati presenta anch'essa una connessione con il bus seriale RS485.

La successiva scheda connessa contiene il solo dispositivo passivo splitter per il trigger per cui il nome della scheda è SCM\_SPLIT.

Segue la scheda SCM\_DAQ/SC che permette la trasmissione/ricezione dei dati e dei comandi di SC e la gestione dei 3 bus che utilizzano il protocollo MODBUS verso gli altri dispositivi.

La successiva scheda contiene i due dispositivi passivi che consentono il multiplexaggio/demultiplexaggio delle lunghezze d'onda. Il nome dei dispositivi è SCM\_DWDM\_MUX/DEMUX.

La successiva connessione è con la scheda ARS\_MB che contiene il circuito ARS che converte il segnale proveniente dal Laser Beacon.

L'ultima scheda connessa è chiamata COMPASS e contiene i dispositivi

Compass e Tiltmeter. Naturalmente questi dispositivi comunicano le loro misure attraverso il bus seriale RS485 alla scheda SCM\_DAQ/SC.

L'ultima connessione non contiene una scheda ma lo spazio per le connessioni con i dispositivi e sensori esterni: SPM, Laser Beacon, Acoustic Transponder, Pressure Sensor e Sound Velocimeter [32].

Nella tabella 3-8 è descritta la disposizione sopra menzionata.

Connettore 16	SCM_ACOUST6
Connettore 15	SCM_ACOUST5
Connettore 14	SCM_ACOUST4
Connettore 13	SCM_ACOUST3
Connettore 12	SCM_ACOUST2
Connettore 11	SCM_ACOUST1
Connettore 10	SCM_VELOCI
Connettore 9	SCM_REP
Connettore 8	SCM_REP
Connettore 7	SCM_WDM1
Connettore 6	SCM_SPLIT
Connettore 5	SCM_DAQ/SC
Connettore 4	SCM_DWDM
Connettore 3	ARS_MB
Connettore 2	COMPASS
Connettore 1	Interfacce locali

Tabella 3-8. Elenco delle schede elettroniche presenti nell'SCM ordinate dal basso verso l'alto.

Un'ulteriore contributo utile per la completezza e la comprensione del funzionamento di questo modulo deriva dalla descrizione delle connessioni presenti tra le varie schede che, come detto vengono realizzate attraverso la

scheda backplane. Queste connessioni sono indicate nella tabella 3-9. In tabella si può osservare un solo BUS dei 3 previsti, in quanto gli altri due sono dedicati al collegamento con i moduli esterni SPM e Laser Beacon.

Connettore	Scheda	Schede connesse
Connettore 16	SCM_ACOUST6	POWER_BOX, SCM_WDM1, SCM_DWDM, BUS
Connettore 15	SCM_ACOUST5	
Connettore 14	SCM_ACOUST4	
Connettore 13	SCM_ACOUST3	
Connettore 12	SCM_ACOUST2	
Connettore 11	SCM_ACOUST1	
Connettore 10	SCM_VELOCI	POWER_BOX, BUS
Connettore 9	SCM_REP	POWER_BOX, SCM_WDM1
Connettore 8	SCM_REP	POWER_BOX, SCM_WDM1
Connettore 7	SCM_WDM1	POWER_BOX, SCM_ACOUST, BUS, SCM_REP(1 e 2), ARS_MB, SCM_DWDM
Connettore 6	SCM_SPLIT	
Connettore 5	SCM_DAQ/SC	POWER_BOX, SCM_WDM1, BUS, ARS_MB
Connettore 4	SCM_DWDM	SCM_DAQ/SC
Connettore 3	ARS_MB	POWER_BOX, SCM_WDM1, BUS
Connettore 2	COMPASS	POWER_BOX, BUS
Connettore 1	Interfacce locali	

Tabella 3-9. Elenco degli oggetti presenti nell'SCM con il loro numero di identificazione e tipo.