Alberto MARINÒ

Dipartimento di Ingegneria Navale, del Mare e per l'Ambiente, Università degli Studi di Trieste, Italia

Evoluzione dei criteri costruttivi dei sommergibili italiani nella prima metà del XX secolo

Monfalcone, Italia
23 - 24 Settembre 2006

SOMMERGIBILI – TECNOLOGIA E CANTIERISTICA DAL 1907 AL 1945
Monfalcone, 23-24 settembre 2006

EVOLUZIONE DEI CRITERI COSTRUTTIVI DEI SOMMERGIBILI ITALIANI NELLA PRIMA METÀ DEL XX SECOLO

Alberto Marinò

Dipartimento di Ingegneria Navale, del Mare e per l'Ambiente
Università degli Studi di Trieste, via Valerio 10, I-34127 Trieste
e-mail: marino@units.it

1 – L'esordio del mezzo subacqueo: l'ultimo decennio del XIX secolo

La nascita del sommergibile moderno può collocarsi nell'ultimo decennio del XIX secolo, allorché si volle concepire un mezzo d'attacco che – armato di siluro – potesse far valere efficacemente l'effetto sorpresa contro le grandi navi di superficie. Questa sua visione d'impiego gli valse inizialmente non poca diffidenza da parte delle maggiori Marine, che lo consideravano un mezzo corsaro più adatto a nazioni povere che a nazioni di antica e gloriosa tradizione marinara. Per di più, i detrattori del battello subacqueo ebbero a sostegno delle loro idee le deficienze tecniche delle primissime realizzazioni: bassissime velocità in immersione e in superficie, autonomia di poche decine di miglia, precarietà delle strumentazioni sia per la navigazione subacquea sia per l'osservazione esterna, inaffidabilità delle stesse armi.

L'invenzione del siluro (1866) segnò una tappa fondamentale nell'evoluzione delle flotte militari, portando all'introduzione di nuove tipologie di navi, in grado di condurre attacchi con la nuova arma ovvero di difendersi da essa. Il siluro dimostrò ben presto, già dalle prime versioni sperimentali, di poter esprimere elevate potenzialità distruttive, tali da incidere profondamente sugli schemi tattici futuri.

Venne ideato un particolare tipo di unità di superficie – la "torpediniera" – specificamente armata con siluri. Si trattava inizialmente di una piccola imbarcazione di 20÷30 t di dislocamento, in grado di insinuarsi di sorpresa fra le navi nemiche ancorate alla fonda, lanciargli contro i siluri e disimpegnarsi ad elevata velocità, prima che l'avversario avesse il tempo di reagire.

Ben presto si pensò anche di impiegare le torpediniere in mare aperto contro unità in movimento. Di conseguenza la torpediniera divenne più grande, con dimensioni di piattaforma e con potenze propulsive più congrue al nuovo ruolo. Parallelamente si affinarono le capacità di difesa delle navi con più efficaci sistemi di avvistamento e con l'adozione di artiglierie a tiro rapido sempre più perfezionate.

A difesa delle navi maggiori dagli attacchi delle agili torpediniere venne ideato un apposito mezzo – il "cacciatorpediniere" – leggermente più grande di una torpediniera, con spiccate caratteristiche di velocità e manovrabilità ed efficientemente armato per battere la sua preda.

La torpediniera, pur evolvendosi di conseguenza, cominciò ad accusare segni di sofferenza nel portare a termine le sue azioni di attacco. A questo punto occorreva una qualche innovazione per ridare efficacia all'attacco col siluro, rilanciando soprattutto il primitivo effetto sorpresa. Si pensò a questo scopo al mezzo sommergibile, mezzo che iniziava così il suo articolato percorso evolutivo che lo ha portato ai sofisticati battelli sottomarini moderni. Si era alla fine del decennio 1880, e prima di allora c'erano stati solo sporadici e ingenui tentativi di costruire mezzi subacquei operativamente efficienti. La Marina Italiana in particolare impostò in gran segreto sugli scali dell'Arsenale di La Spezia nell'autunno del 1889 il suo primo sommergibile, progettato del generale ispettore del genio navale ing. Giacinto Pullino. Il battello, di poco più di 100 t, dopo le prime prove di valutazione e i conseguenti interventi di modifica, entrò ufficialmente in servizio nel 1895 col nome di "Delfino" (Fig. 1).

Fig. 1 – Sommergibile "Delfino" 1890

Il sommergibile nacque quindi come nave "torpediniera-sommergibile", ossia come un mezzo che doveva navigare normalmente in superficie, immergendosi in prossimità del bersaglio onde avvicinarsi senza essere visto per lanciare i siluri; il successivo disimpegno doveva avvenire in superficie a velocità sostenuta. Questo schema tattico, tuttavia, risentiva fortemente della carenza di velocità e di autonomia subacquea sofferta dai primi battelli. Per essi, in effetti, si mise spesso in atto il criterio d'impiego abbastanza statico della cosiddetta "boa offensiva": il sommergibile pattugliava una ristretta zona d'agguato; di giorno operava sempre in immersione, attaccando pure in immersione; di notte emergeva per la ricarica delle batterie di accumulatori e il necessario ricambio dell'aria.

2 – L'era Laurenti: dai primi del '900 alla fine della prima guerra mondiale

È con gli inizi del Novecento che le maggiori Marine, ormai convertite al nuovo mezzo, iniziarono a studiare soluzioni costruttive in grado di minimizzare quelle carenze tecniche messe in luce con l'esperienza delle prime realizzazioni. In sostanza l'obiettivo era quello di arrivare ad un mezzo dotato di elevata velocità sia in superficie che in immersione, di grande autonomia, di buone qualità nautiche per la navigazione in superficie con condizioni di mare avverse e di elevata quota operativa per un efficace occultamento. Si trattava di requisiti tecnici che condizionavano fortemente le scelte progettuali, comportando spesso implicazioni tra loro contrastanti. Occorreva arrivare al giusto compromesso, tenendo conto soprattutto del contesto tecnologico dell'epoca e delle modalità operative impiegate.

In Italia, l'ingegnere del genio navale Cesare Laurenti, già collaboratore di Giacinto Pullino, fu il maggiore progettista di sommergibili fra il 1903 e il 1918. I primi sommergibili "tipo Laurenti" (classe "Glauco") furono costruiti nel 1903-05 presso il Regio Arsenale di Venezia.

Delle quattro caratteristiche tecnico-operative prima enunciate (velocità, autonomia, qualità nautiche e quota massima di immersione) il Laurenti, nei suoi progetti, privilegiò le prime tre, mentre, in conformità ad una realistica valutazione della minaccia, non ritenne giustificate le elevate quote operative. All'epoca, per sfuggire alla scoperta avversaria, era ritenuto sufficiente che il sommergibile si immergesse appena sotto la superficie del mare ad una quota tale da non entrare in collisione con le navi di superficie in transito. Secondo questa impostazione bastava che lo scafo fosse dimensionato per resistere al più ad un battente idrostatico di 40 metri. Non era pertanto necessario ricorrere a sezioni circolari, evitando così le difficoltà di natura ergonomica connesse con le sistemazioni interne del battello. Questa valutazione portò il Laurenti a concepire battelli che, a parità di dislocamento, risultavano di prestazioni superiori rispetto a quelli di progettisti di Marine straniere che adottavano scafi resistenti di forma cilindrica. Il Laurenti, non avendo il vincolo fissato dalla forma dell'involucro, poteva installare macchinari e impianti anche voluminosi e complessi senza penalizzare eccessivamente le dimensioni globali del battello. In altri termini, lo scafo resistente era costruito attorno al macchinario imbarcato, talché il suo volume ne risultava pure minimizzato. Il progetto di conseguenza prevedeva sommergibili a scafo semplice o parzialmente doppio nella zona centrale, e con scafo esterno di forme analoghe a quelle di una torpediniera. Questi battelli avevano dunque nella zona centrale uno scafo esterno ed uno interno entrambi resistenti alla massima quota operativa. Lo spazio fra i due scafi era utilizzato per contenere l'acqua di zavorra ed il combustibile (Fig. 2).

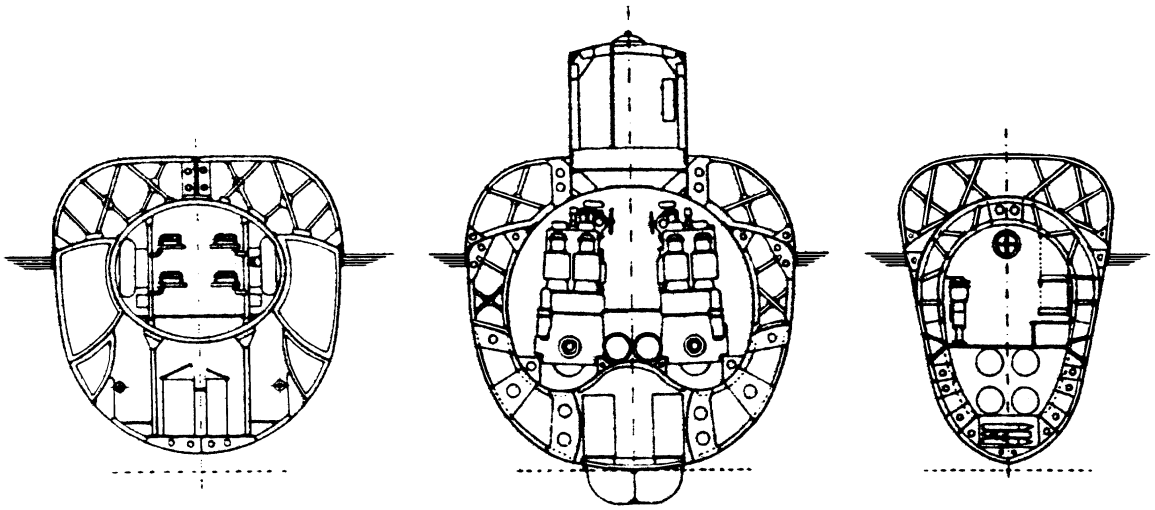

Fig. 2 – Sezioni trasversali in un sommergibile "tipo Laurenti"

Il Laurenti ideò pure un sistema originale per aumentare la riserva di spinta in emersione, sì che il sommergibile potesse assumere appieno l'assetto di una veloce torpediniera di superficie di alto bordo libero, con buone qualità nautiche anche in mare agitato. Predispose una intercapedine opportunamente diaframmata al di sopra dello scafo resistente, in modo tale da formare un ponte di coperta abbastanza alto sul livello mare (Fig. 3). Lo spazio racchiuso da questa intercapedine era reso a libera circolazione in assetto immerso oppure stagno durante la navigazione in superficie, aprendo o chiudendo opportunamente sfoghi d'aria e valvole di allagamento. Con questo sistema la riserva di spinta assicurata dall'acqua di zavorra nei doppi fondi era pari al 35÷40% del dislocamento dosato, mentre si arrivava al 60% contando, solamente in superficie, il volume aggiunto dall'intercapedine resa stagna.

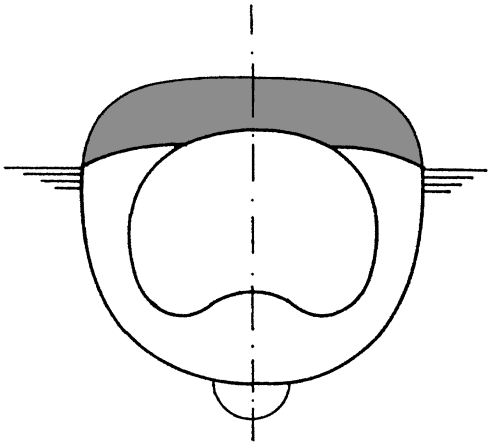

Fig. 3 – L'intercapedine superiore nei sommergibili "tipo Laurenti"

3 – L'era Bernardis – Cavallini: dalla prima alla seconda guerra mondiale

Nel periodo che va dall'inizio del XX secolo alla fine della prima guerra mondiale la cantieristica subacquea italiana fu fortemente condizionata dai criteri costruttivi del Laurenti, anche se già a partire dai primi anni Dieci del '900 si misero in luce due valentissimi ufficiali del genio navale: gli ingegneri Curio Bernardis e Virginio Cavallini, che segnarono la storia delle costruzioni subacquee nazionali per oltre un trentennio, sino a tutta la seconda guerra mondiale.

Già alla fine della prima guerra mondiale, con lo sviluppo assunto dai primi apparati di ascolto idrofonico e con la comparsa delle prime ricognizioni aeree, i sommergibili cominciarono a denunciare una grave carenza operativa: la loro quota di soli 40 m era ormai considerata assolutamente insufficiente per sottrarsi alla scoperta avversaria. I sommergibili dovevano incrementare sensibilmente le loro prestazioni, ed in particolare dovevano irrobustire lo scafo resistente in modo da consentire profondità d'immersione almeno dell'ordine di 100 metri. Chiaramente i criteri costruttivi del Laurenti non potevano più reggere, talché lo scafo resistente doveva assumere definitivamente la forma cilindrica con fondi semisferici per poter razionalmente far fronte alle forti pressioni idrostatiche in gioco, senza appesantirsi in maniera inaccettabile.

Terminato il conflitto, gran parte della flotta subacquea italiana venne disarmata e solo nel 1925 fu intrapresa la costruzione di nuovi sommergibili. Si iniziò con la realizzazione di alcune piccole serie di prototipi e dalla loro valutazione si trasse insegnamento per la costruzione di numerosi battelli sia da grande crociera, destinati all'impiego oceanico, sia di media e piccola crociera, adatti ad operare nel Mediterraneo. La costruzione dei sommergibili fu distribuita tra i cantieri del Muggiano di La Spezia (OTO, Otero Terni Orlando), di Taranto (Tosi) e di Monfalcone (Cantiere Navale Triestino prima e CRDA, Cantieri Riuniti dell'Adriatico, poi), inoltre qualcosa fu assegnato pure ai cantieri del Quarnaro di Fiume.

Le nuove costruzioni, una volta abbandonata l'architettura "tipo Laurenti", seguirono tre possibili morfologie, che saranno mantenute poi sino al 1943: il "tipo Bernardis", anche detto a scafo semplice con doppi fondi centrali resistenti e controcarene esterne, il "tipo Cavallini" a doppio scafo parziale e infine il tipo detto "a doppio scafo totale".

Al primo tipo, il "Bernardis", appartenne la maggior parte dei battelli italiani costruiti fra le due guerre, e costituirono il fulcro dell'arma subacquea italiana durante il secondo conflitto mondiale. Erano sommergibili di piccola crociera, detti anche costieri o mediterranei; furono progettati nel cantiere di Monfalcone e costruiti nello stesso e altrove. Al secondo tipo, il "Cavallini", appartennero i sommergibili oceanici e posamine; il maggior artefice di queste costruzioni fu il cantiere Tosi di Taranto. Infine, il terzo tipo, "a doppio scafo totale", fu riservato pur esso per battelli oceanici e fu appannaggio esclusivo del cantiere spezzino del Muggiano.

Nei sommergibili “a doppio scafo totale” lo scafo resistente cilindrico era sistemato completamente interno ad uno scafo a struttura leggera, di forma adatta per la navigazione in superficie. Lo spazio fra i due scafi era adibito ai doppi fondi per l’acqua di zavorra e ai depositi per il combustibile (Fig. 4). Questa soluzione offriva fra l’altro il vantaggio di poter sistemare le ossature internamente o esternamente allo scafo resistente a seconda delle necessità. Per contro, le sezioni trasversali risultavano molto grandi e quindi poco adatte per le alte velocità.

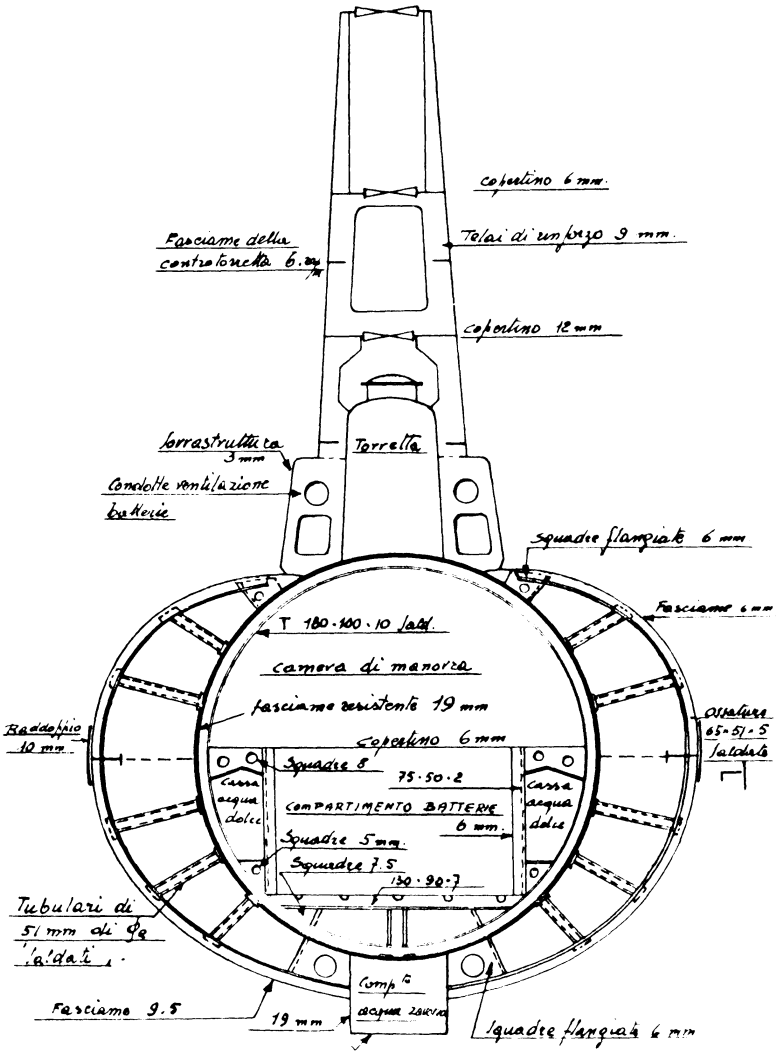

Fig. 4 – Sezione di sommergibile “a doppio scafo totale”

I sommergibili a doppio scafo parziale “tipo Cavallini” erano caratterizzati da uno scafo resistente a sezioni tutte circolari con ossature interne e calotte semisferiche alle estremità. I doppi fondi per la zavorra e i depositi per il combustibile erano tutti esterni, ricavati in due grandi controcarene a struttura leggera che, come due bisacce applicate ai fianchi dello scafo resistente (significativamente chiamate “doppi fondi a sella”), si estendevano per circa i 2/3 della lunghezza del battello (Fig. 5). In queste unità vennero adottate, per la prima volta, le casse di emersione e di rapida immersione, entrambe a struttura resistente e ubicate all’interno dello scafo, al centro, al di sotto della camera di manovra. I sommergibili “Mameli” impostati nel 1925 nel cantiere Tosi di Taranto furono i primi battelli ad adottare questo nuovo concetto costruttivo, che permise di raddoppiare praticamente la quota massima d’immersione rispetto ai battelli di precedente costruzione. Si raggiunse la profondità di ben 117 m, che costituiva all’epoca un vero e proprio primato.

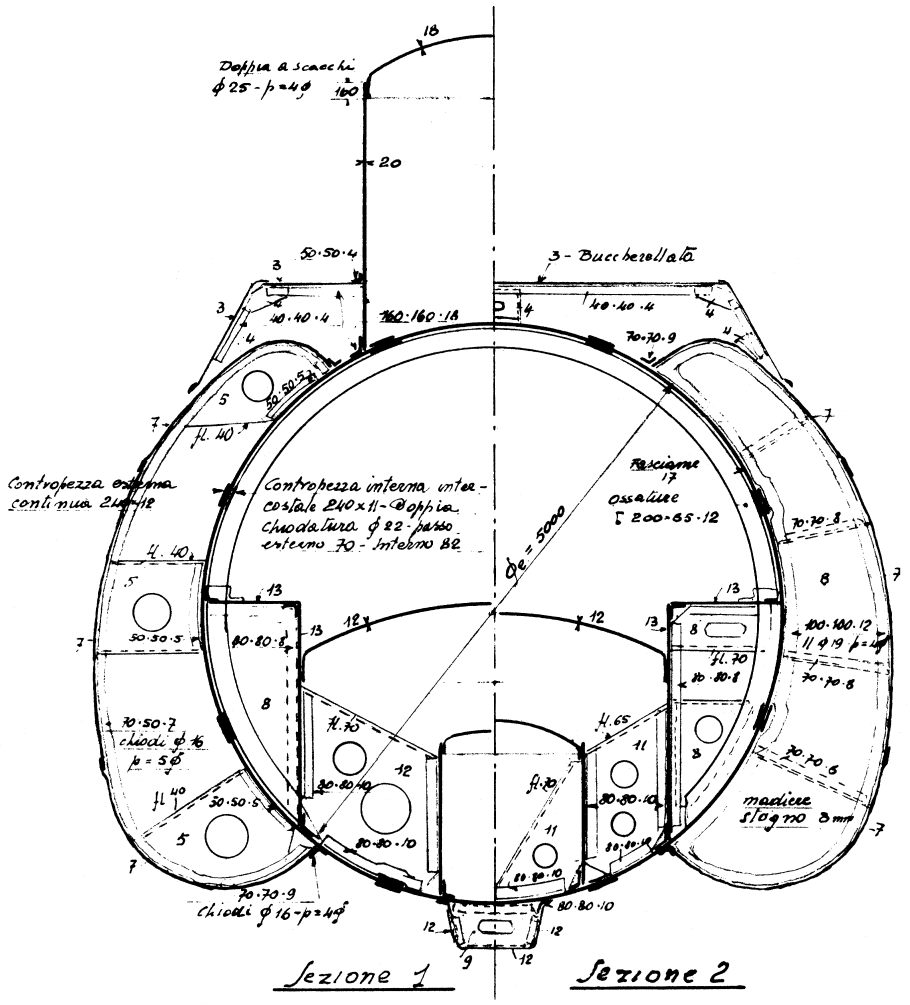

Fig. 5 – Sezione di sommergibile a doppio scafo parziale "tipo Cavallini"

I sommergibili a scafo semplice "tipo Bernardis" rappresentarono un'altra soluzione costruttiva messa a punto per soddisfare le nuove richieste di scafi in grado di operare ad elevate profondità. Si trattava di una soluzione alternativa che l'ing. Bernardis studiò quasi contemporaneamente a quella dell'ing. Cavallini. I primi sommergibili costruiti secondo questo criterio furono quelli della classe "Pisani", impostati a Monfalcone nel 1925-26. Essi avevano uno scafo resistente cilindrico nella parte centrale, raccordato a due tronchi di cono chiusi da calotte semisferiche alle estremità. Lo scafo resistente veniva poi avviato verso prora e verso poppa con uno scafo leggero. L'acqua di zavorra era in parte sistemata in doppi fondi ricavati nello scafo leggero, alle due estremità prodiera e poppiera, e in parte in casse resistenti ricavate al centro internamente allo stesso scafo resistente, assieme alle casse di emersione e di rapida immersione. La sezione trasversale nella zona centrale di questi battelli mostra due cilindri eccentrici: all'interno del cilindro più piccolo era ospitata la camera di manovra, all'esterno l'acqua di zavorra (Fig. 6).

La forma affusolata dello scafo singolo mise presto in evidenza, durante le prove di collaudo, una scarsa stabilità trasversale in superficie. Fu necessario sottoporre le unità a lavori molto estesi per modificare la sistemazione di molti macchinari interni, al fine di abbassare il baricentro; inoltre furono applicate delle controcarene laterali al livello del bagnasciuga per allargare la figura di galleggiamento nella parte centrale del battello, penalizzando però la resistenza al moto e quindi la velocità. L'interno delle controcarene venne adibito a doppi fondi laterali resistenti e, in parte, a depositi leggeri per il combustibile. Le controcarene laterali rimasero una firma caratteristica di tutti i sommergibili "tipo Bernardis".

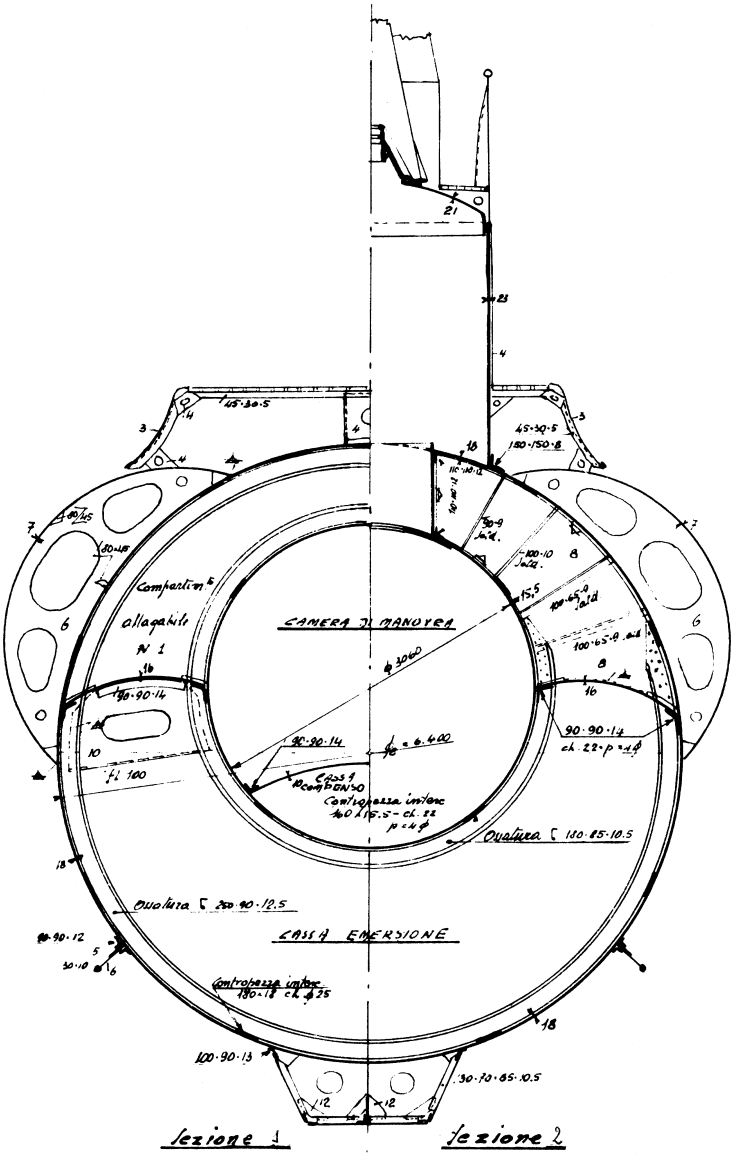

Fig. 6 – Sezione di sommergibile a semplice scafo con controcarene "tipo Bernardis"

Un altro inconveniente legato alla forma affusolata dello scafo si manifestò durante la navigazione in superficie con una accentuata tendenza del battello ad infilarsi nel mare di prora. Per contrastare tale tendenza, nelle unità successive furono ingrossati e rialzati i settori prodieri dello scafo leggero (Fig. 7).

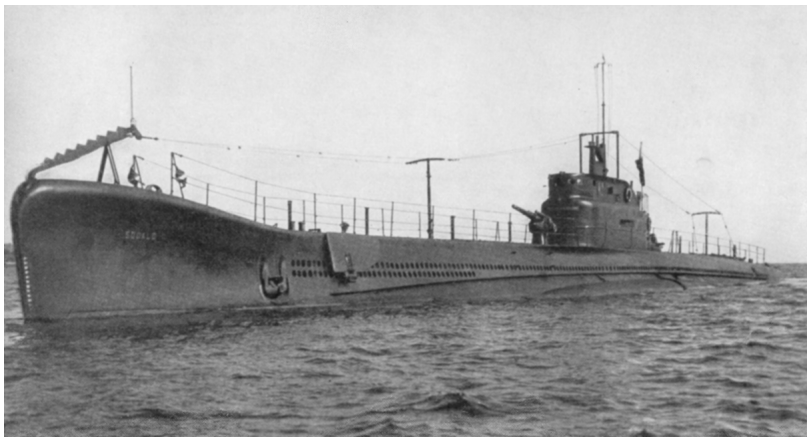

Fig. 7 – Prora modificata di un sommergibile "tipo Bernardis"

4 – Miglioramenti tecnologici e nuove teorie per il calcolo delle strutture

Nel periodo fra le due guerre mondiali furono particolarmente ferventi gli studi teorici e le attività attorno alla tecnologia delle costruzioni subacquee. Si adottarono miglioramenti riguardanti il materiale ed il sistema di giunzione delle lamiere, ed inoltre si affinarono le teorie per il calcolo delle strutture.

Si studiò un tipo di acciaio a basso tenore di nichel ad elevato limite di snervamento (40 kg/mm^2) e con un carico di rottura di 60 kg/mm^2.

Il sistema di chiodatura delle lamiere a semplice sovrapposizione, qual era stato usato per i sommergibili della prima guerra mondiale, venne sostituito in favore di una soluzione simmetrica e più razionale per ciò che concerne la risposta strutturale, con le lamiere messe a paro e unite con due coprigiunti attraverso una doppia fila di chiodi disposti a scacchiera. Il peso delle contropezze e dei chiodi costituiva però una non trascurabile aliquota dello scafo, arrivando a raggiungere persino il 20% del peso del fasciame. La saldatura elettrica rimuoverà questo inconveniente, ma si dovrà aspettare la fine degli anni Trenta per le prime parziali applicazioni di quest'altra tecnologia. Nelle prime costruzioni saldate, infatti, la non piena fiducia nella saldatura elettrica portò prudenzialmente a mantenere, solamente dalla parte interna dello scafo resistente, un singolo coprigiunto a semplice fila di chiodi. La prima sperimentazione di questo nuovo sistema di costruzione fu fatta al CRDA di Monfalcone, con il sommergibile "Marconi" impostato nel 1938 (Fig. 8). Soltanto nella successiva classe "Ammiragli", con il "Saint-Bon" impostato sempre a Monfalcone nel 1939, furono aboliti i coprigiunti chiodati e ci si affidò completamente alla sola saldatura.

Fig. 8 – Sommergibile "Marconi" su cui si sperimentò per la prima volta la saldatura elettrica

A partire dalla metà degli anni Venti maturarono nuovi criteri per il dimensionamento dello scafo resistente che, spinto a quote operative sempre più profonde, era chiamato a resistere a carichi di schiacciamento sempre più gravosi. Eminenti studiosi si prodigarono per mettere a punto modelli di calcolo più raffinati, al fine di restringere il campo d'incertezza dei progettisti e in definitiva permettere un dimensionamento meno grossolano delle strutture.

Fino ad allora si era dato totalmente fiducia alla formula di Foeppl riguardante la verifica delle ossature anulari all'instabilità elastica. In altre parole, il calcolo strutturale dei sommergibili era basato prevalentemente sulla resistenza delle ossature, dando troppo poca importanza al contributo del fasciame. Lo scafo resistente era considerato come una intelaiatura a gabbia sulla quale le lamiere dell'involucro trasmettevano il carico esterno dovuto all'acqua. In tale impostazione il fasciame era visto dunque solamente nella sua funzione di assicurare la tenuta stagna, senza alcuna partecipazione alla robustezza dello scafo.

Negli anni Venti iniziarono a circolare nella letteratura tecnica la teoria di von Sanden relativa allo sfibramento del fasciame e quella di von Mises per l'infestonamento dello stesso fra due ossature. Con esse finalmente il fasciame assumeva la giusta importanza nella capacità strutturale: lo scafo resistente veniva visto essenzialmente come un involucro relativamente sottile che aveva bisogno del sostegno dei rinforzi anulari per conservare la sua forma circolare, ed era il complesso fasciame-ossatura a dover far fronte, sinergicamente, alla pressione esterna di schiacciamento. Da notare che all'epoca ancora non si parlava di verifiche alla instabilità generale dell'intero scafo resistente.

La teoria di von Sanden era già nota ai cantieri tedeschi sin dal 1918, ma la sua divulgazione in Italia si ebbe più tardi ad opera soprattutto dell'ing. Agostino Bezzi che tra il 1924-25 pubblicò sulla Rivista Marittima una serie di articoli "Sul problema dei cilindri cavi rinforzati trasversalmente sottoposti da ogni parte a pressione uniforme esterna", in cui riportava integralmente la traduzione di uno studio teorico-pratico condotto dagli ingegneri K. von Sanden, per la teoria, e K. Guenther, per la parte pratica.

Nelle pubblicazioni dell'ing. Bezzi del 1925 venne divulgata pure la formula di von Mises per la determinazione della pressione critica di instabilità del fasciame fra due ossature ritenute indeformate, in cui si teneva conto dell'effetto concomitante indotto dalla pressione assiale agente sulle calotte di estremità del cilindro. Anche questa espressione di von Mises era nota alle autorità militari tedesche sin dall'inizio del 1918; si trattava di una rielaborazione di una versione precedente dello stesso autore, del 1914, in cui egli aveva considerato più semplicisticamente il caso di un cilindro infinitamente lungo, in pratica senza i fondi.

Per la verifica delle ossature contro il fiaccamento si continuava ad usare la formula del Foeppl, considerando la lamiera dell'involucro a contatto come associata alla trave anulare.

Per inciso, è interessante rimarcare il lessico utilizzato all'epoca per la definizione delle diverse forme di collasso. Si parlava così di "sfibramento del fasciame" con riferimento alla crisi per snervamento, di "fiaccamento delle ossature" per l'instabilità elastica della trave circolare compressa radialmente e di "infestonamento del fasciame" per l'insorgere di instabilità locale a lobi sul mantello cilindrico.

In Italia, nel 1931, ad opera del prof. Francesco Viterbo venne data alle stampe una sua rielaborazione della teoria di von Sanden che prendeva in considerazione anche l'influenza della compressione assiale del fasciame ad opera della pressione agente sui fondi di chiusura. Tale effetto, pur noto a von Sanden, non venne esplicitamente da egli considerato per non complicare inadeguatamente le formule. Il prof. Viterbo, inoltre, per la dichiarazione di crisi del fasciame per snervamento, introdusse il riferimento alla tensione limite ideale calcolata sulla base dell'effettivo stato di deformazione biassiale in essere, mentre von Sanden e Guenther consideravano la sola tensione massima secondo il criterio di Rankine all'epoca diffusamente utilizzato.

I nuovi criteri di dimensionamento strutturale che maturarono in quegli anni rimarranno praticamente inalterati sino agli anni Cinquanta, allorché fu elaborata una nuova teoria per la verifica dello snervamento del fasciame (Salerno e Pulos), e si introdussero modelli per il calcolo della pressione di instabilità generale di tutto lo scafo resistente (Kendrick).

5 – Conclusioni

Il percorso evolutivo che si è voluto tracciare limitatamente agli aspetti strutturali del sommergibile ha evidenziato soprattutto le grandi sfide che i progettisti, nelle varie epoche, hanno dovuto affrontare per soddisfare al meglio i requisiti tecnico-operativi richiesti al nuovo mezzo.

Il sommergibile, abbiamo visto, è nato quasi dal nulla, ossia da un'idea che si è poi concretizzata grazie a successi ed errori che via via si acquisivano con l'esperienza. I pionieri in questo campo erano progettisti che si sono spesso trovati di fronte a carenze di conoscenze teoriche o di natura tecnologica cui hanno saputo sopperire con l'ingegno e il buon senso. Il battello subacqueo ha progredito negli anni, sapendosi adeguare in maniera affidabile a profili operativi sempre più complessi e impegnativi.

L'esame che si è fatto, ristretto alla prima metà del XX secolo, ha visto il sommergibile alla fine della seconda guerra mondiale arrivare ad un punto di svolta decisivo della sua storia. Sappiamo infatti che negli anni del secondo dopoguerra il nostro mezzo si è trasformato ancora, assumendo caratteristiche prettamente sottomarine, con nuove forme di carena e soluzioni tecniche d'avanguardia atte ad esaltarne l'impiego soprattutto nello spazio acqueo profondo.

Bibliografia

Michele Cosentino: "Sotto gli oceani – Evoluzione e sviluppo delle unità subacquee"; supplemento alla Rivista Marittima, 2001

Alessandro Turrini, Ottorino Ottone Miozzi: "Sommergibili italiani"; Ufficio Storico della Marina Militare, 1999

Giorgio Giorgerini: "Uomini sul fondo – Storia del sommergibilismo italiano dalle origini a oggi"; Arnoldo Mondadori Editore, 1994

Antonio Flamigni, Alessandro Turrini, Tullio Marcon: "Sommergibili italiani – Cento anni di vita tra storia e leggenda"; supplemento alla Rivista Marittima, 1990

Erminio Bagnasco: "I sommergibili della seconda guerra mondiale"; Ermanno Albertelli Editore, 1973

Francesco Viterbo: "Sul problema della robustezza di cilindri cavi rinforzati trasversalmente sottoposti da ogni parte a pressione esterna"; Accademia Navale di Livorno, 1931

K. von Sanden, K. Guenther: "Sul problema della robustezza di cilindri cavi rinforzati trasversalmente sottoposti da ogni parte a pressione uniforme esterna", traduzione Agostino Bezzi; Rivista Marittima, 1925