

“Quei diabolici strumenti di guerra” ricerche metallurgiche su due bocche da fuoco bassomedievali

M. Boniardi, F. D’Errico

Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano, Milano.

P.O. Pagni

Perito balistico, La Spezia.

M. Ratti

Istituzione per i Servizi Culturali, Comune della Spezia, La Spezia.

Parole chiave: armi da fuoco; cannoni cerchiati; archeometallurgia.

Riassunto

Il lavoro di ricerca presentato in questa memoria prende lo spunto dal ritrovamento di due cannoni cerchiati, rinvenuti all’inizio degli anni novanta nei magazzini della biblioteca di La Spezia; le due bocche da fuoco sono ora esposti al pubblico presso il Museo del Castello di La Spezia.

I due pezzi sono realizzati in ferro e si caratterizzano per avere un eccellente stato di conservazione; rappresentano due esempi di cannoni a retrocarica realizzati per “cerchiatura”, tipici dei “mastri artieri” dell’Europa occidentale a cavallo tra il XIV e il XV secolo.

I due pezzi sono stati oggetto di approfondite ricerche di carattere archeometallurgico. In prima battuta, sono state svolte estese analisi non distruttive. Le prove sono state eseguite mediante raggi X (esposizione in parete singola e in parete doppia): è stato così possibile valutare le caratteristiche tecnologiche-produttive dei due cannoni. Nella seconda fase del lavoro, si è provveduto ad effettuare accurati esami di tipo distruttivo prelevando alcune porzioni di materiale dall’anima, dai manicotti e dai cerchioni del cannone; questi esami, tuttavia, non essendo di tipo invasivo, non hanno intaccato le caratteristiche dei cannoni quali reperti storico museali.

Sui campioni prelevati sono state svolte analisi chimiche e indagini metallografiche mediante microscopia ottica ed elettronica a scansione (SEM) nonché prove meccaniche di trazione e di microdurezza. Gli esami hanno evidenziato che il ferro impiegato per la realizzazione delle varie parti del cannone ha composizione chimica, caratteristiche microstrutturali e proprietà meccaniche differenziate in relazione alle diverse fasi di lavorazione subite durante la realizzazione del cannone. Inoltre si è cercato, sulla base di tutti i dati rilevati, di stabilire la possibile data di fabbricazione e la probabile modalità di impiego del cannone stesso. Tutti gli esami svolti hanno mostrato, infine, l’elevata qualità dei prodotti ferrosi ottenuti dai mastri artieri medievali, qualità che non ha nulla da invidiare a quella dei prodotti ferrosi a noi storicamente più vicini.

Introduzione¹

I cannoni hanno affascinato, fin dalla loro prima apparizione, numerosi scrittori, letterati e uomini di cultura medievali. Lo stesso Francesco Petrarca nel 1350 scriveva “questi strumenti che lanciano palle di metallo con tremendo rumore e lingue di fuoco [...] solo pochi anni fa erano molto rari ed erano visti con grande sbalordimento ed ammirazione, ma ora essi stanno diventando comuni e familiari quanto qualunque altro tipo di arma. Quanto rapida e ingegnosa è la mente dell’uomo per

¹ Molti libri e molte pubblicazioni trattano il problema della nascita e dello sviluppo delle artiglierie nel periodo basso medievale e primo rinascimentale. Per questa breve introduzione si è preso spunto da: J. Norris, Early Gunpowder Artillery 1300-1600, Shrewsbury (UK), 2003; J. R. Partington, A History of Greek Fire and Gunpowder, Cambridge (UK), 1960; R. F. Tylecote, A History of Metallurgy, London, 1972; M.B. Mallet, J.R. Hale, The Military Organisation of a Renaissance State: Venice c.1400 to 1617, Cambridge (UK), 1984.

imparare le arti più perniciose”. E ancora, nel tardo XIV secolo (ca. 1390), il medico inglese John de Mirfield chiamerà le armi da fuoco, per stigmatizzarne il carattere terrificante, “questo strumento bellico o diabolico che chiamano volgarmente cannone (*gonne*)”. Forse il primo riferimento ad un cannone appare in un’ordinanza fiorentina del 1326: si menziona un cannone in bronzo insieme a palle e frecce di ferro. Successivamente alcuni cronachisti dell’epoca parlano di cannoni presenti all’assedio di Metz del 1324. La prima rappresentazione grafica è invece contenuta nel manoscritto di Walter de Millemete (ca. 1326) in cui un’arma a forma di vaso, probabilmente fusa in bronzo, spara un dardo a forma di freccia (vedi figura 1).

La tecnica di fabbricazione di queste prime rudimentali artiglierie era molto simile a quella delle campane (fusione) e il nome che veniva dato loro era quello di “vasi” e “pot de fer”; in alternativa al bronzo, che risultava molto costoso, veniva usato il ferro o una lega simile al nostro ottone chiamata “cuprum” con temperatura di fusione più bassa del rame.



Figura 1: La prima immagine di un’arma da fuoco (tratta da: Walter de Millemete, *De Officiis Regum*, Christ Church Library, Oxford, ca. 1326).

I primi cannoni degni di un tal nome (a quell’epoca, però, i nomi che venivano dati a queste primitive bocche da fuoco erano spesso molto più pittoreschi²) risalgono agli anni attorno al 1370. Gli antenati dei moderni cannoni erano armi a retrocarica, realizzati in ferro seguendo una tecnica di fabbricazione piuttosto complessa.

Inizialmente si provvedeva alla fabbricazione dell’anima forgiando longitudinalmente, su un mandrino in legno, tre o quattro lamine di ferro in modo da ottenere una canna della lunghezza desiderata (tale processo era anche chiamato “bollitura”).

Successivamente venivano infilati coassialmente, sull’anima prima realizzata, un certo numero di manicotti e anelli di cerchiatura in ferro, forzandoli a caldo in modo che dopo il successivo raffreddamento esercitassero un’azione di contenimento della pressione che si sviluppava durante lo scoppio della polvere da sparo. Un’esemplificazione della tecnologia di fabbricazione qui descritta è mostrata in figura 2.

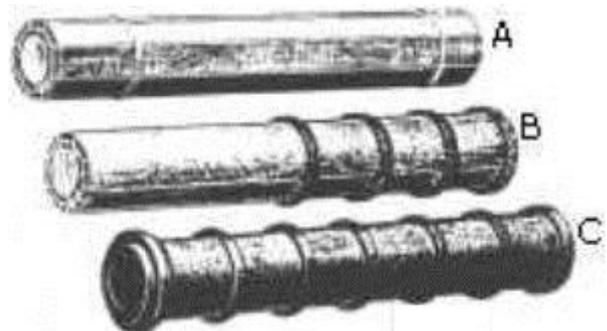


Figura 2: Schema del processo produttivo dei cannoni cerchiati; A) realizzazione dell’anima centrale formata da lamine “bollite” fra loro, B) forzamento dei manicotti e degli anelli di cerchiatura sull’anima centrale, C) il cannone finito (tratto da <http://riv.co.nz/rnza/hist/gun/firstgun.htm>).

² Solo per citare i nomi più fantasiosi ed esotici ricordiamo i seguenti: *aspide*, *basilisco*, *bronzina*, *cortana*, *diluvio*, *falcone*, *grifalco*, *passavolante*, *rovina*, *sagro*, *terremoto*, *vipera*. Le denominazioni originarie non avevano alcuna pretesa di omologazione e, quindi, non è possibile associare ad una differente denominazione una diversa tipologia di cannone.

La “culatta” (contenente la polvere da sparo) era mobile e veniva fissata al fondo della “volata” utilizzando, per bloccarla, un cuneo di legno. Il pezzo era montato con una serie di canapi su un affusto di legno senza ruote (in pratica uno spesso tavolato); l’alzo (elevazione) veniva realizzato sagomando in modo opportuno il terrapieno su cui il cannone era posto o inserendo dei cunei di legno al di sotto dell’affusto stesso.

Una rappresentazione grafica del tipico impiego di un cannone cerchiato è mostrata in figura 3.



Figura 3: Il caricamento dei cannoni cerchiati: il servente al pezzo sta posizionando la culatta sul fondo della volata; a terra è visibile il cuneo di legno per il forzamento (tratto da www.earmi.it).

Tale tecnica di fabbricazione divenne molto diffusa in tutta l’Europa; l’impiego di questi cannoni negli assedi è variamente attestato come, ad esempio, nel caso dell’artiglieria inglese durante l’assedio di Harfleur nel 1415 durante l’ultima fase della guerra dei cent’anni.

Questi antesignani dei moderni pezzi di artiglieria avevano però alcuni problemi, tipicamente riconducibili alle rudimentali tecniche di fabbricazione. Se da un lato si manifestava spesso la fuga dei gas di scoppio nel punto di contatto tra culatta e volata (cosa che riduceva la spinta impressa alla palla), dall’altro si poteva anche verificare un vero e proprio cedimento della bocca da fuoco durante lo sparo (come avvenne, ad esempio, all’assedio di Roxburgh (1460) dove la bombarda detta “Il Leone”, fabbricata con il metodo della cerchiatura, esplose uccidendo il re Giacomo II di Scozia).

Con l’avvento del forno soffiato (descritto in Italia dal Filarete nel 1463) fu possibile ottenere la ghisa liquida attraverso la quale realizzare cannoni ottenuti per fusione. La tecnologia fusoria rendeva finalmente possibile la realizzazione su larga scala di pezzi ad avancarica di ottima fattura meccanico-metallurgica dove era assente il problema della fuga dei gas dalla culatta.

Anche se dopo il 1450-1460 la produzione di questi pezzi va via via scemando, le bombarde e i cannoni realizzati con la tecnica della cerchiatura furono utilizzati ancora per parecchie decine d’anni nella difesa di postazioni fisse o come artiglieria navale. A questo proposito si segnala che per tutto il XV secolo, questi cannoni furono l’arma standard delle galere veneziane che solcavano il mediterraneo. Sul relitto della nave inglese Mary Rose (affondata nel 1545) sono stati rinvenuti un buon numero di cannoni cerchiati a ulteriore riprova della bontà delle caratteristiche di questi pezzi d’artiglieria.

Parte sperimentale

I due cannoni oggetto della presente ricerca sono stati rinvenuti nel 1993 nei magazzini della biblioteca di La Spezia; attualmente le due bocche da fuoco sono esposte al pubblico presso il Museo del Castello di La Spezia (vedi figura 4).



Figura 4: I due cannoni cerchiati del Museo del Castello di La Spezia

I pezzi sono due tipici esempi di cannoni cerchiati realizzati in ferro e si caratterizzano per avere un eccellente stato di conservazione. Come si può osservare dalla figura 4 uno dei due reperti è integro (*reperito lungo*) mentre l'altro, non integro, risulta spezzato a metà (*reperito corto*). L'esame visivo dei due reperti mostra una tipologia costruttiva ed uno stato di conservazione del tutto analogo, tale da far ipotizzare che i due pezzi siano coevi e siano stati realizzati da "mastri artieri" appartenenti alla stessa scuola.

Il *reperito lungo* ha forma tubolare ed una lunghezza complessiva di circa 2220 mm con un diametro interno (calibro) di circa 70 mm (vedi figura 5); è assente, invece, il tappo mobile della culatta. Lungo l'asse sono rilevabili, in tre posizioni distinte, gli anelli di ritenuta del pezzo, agganciati alle cerchiature di maggior diametro. Si noti, infine, dal lato della culatta, il consistente rafforzamento della canna per effetto della presenza di un maggiore numero di anelli di cerchiatura e, dal lato della bocca, la forma zoomorfa della parte terminale ove è anche rilevabile il mirino di puntamento.



Figuratura 5: Vista d'insieme del reperito lungo e relativi particolari della zona (a) della culatta, (b) degli anelli di ritenuta, (c) della bocca.

Il *reperito corto* (vedi figura 6), anch'esso di forma tubolare, è lungo circa 1180 mm e presenta un'estremità con rottura a becco di flauto della lunghezza di circa 130 mm; il calibro è di circa 75 mm; in origine il pezzo doveva avere una lunghezza confrontabile con quella del *reperito lungo* o forse addirittura maggiore se si considera il suo maggior calibro³: a tutta prima sembra che la parte rimasta si riferisca al lato della bocca del cannone.



Figura 6: Vista d'insieme del *reperito corto* e particolare dell'estremità con rottura a becco di flauto

Esami radiografici

I due reperti sono stati sottoposti ad esami radiografici con esposizione in parete singola e con esposizione in parete doppia. Scopo degli esami era quello di determinare la dimensione dell'anima, le dimensioni degli anelli e dei manicotti di cerchiatura dei cannoni e, soprattutto, stabilire le caratteristiche tecnologiche del processo che aveva portato alla realizzazione delle due bocche da fuoco.

Un primo risultato di notevole importanza è mostrato in figura 7 dove è presentata l'immagine radiografica della zona esaminata unitamente al suo aspetto visivo. Nell'immagine sono evidenti le parti che costituiscono il reperto: è chiaramente presente un'anima passante, ben distinta dai tre anelli di cerchiatura (di cui quello centrale ha le maggiori dimensioni) e dai due manicotti.

³ Se si trattasse di due cannoni moderni si potrebbe affermare che, vista l'analoga tipologia costruttiva, il rapporto lunghezza/calibro debba essere *grosso modo* costante e, quindi, a maggior calibro dovrebbe corrispondere una maggiore lunghezza della canna.

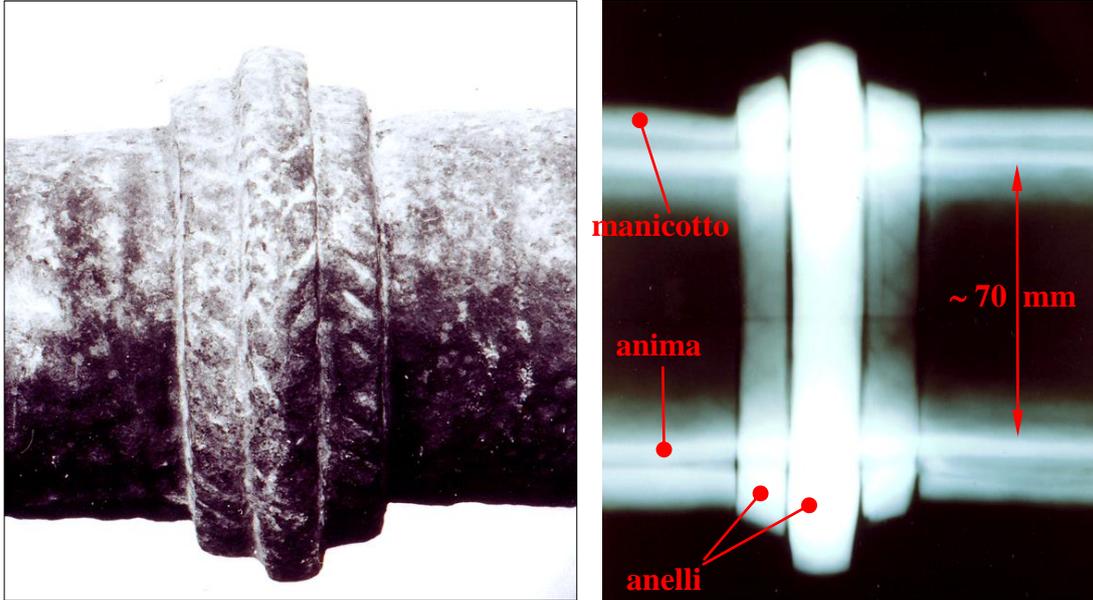


Figura 7: Particolare del *reperto lungo* (zona della bocca) sottoposto ad esame radiografico

Si ponga attenzione a due particolari (vedi figura 8) che permettono di evidenziare il ciclo tecnologico di ottenimento del componente.

L'anima è passante, ha uno spessore di circa 1,5 mm e non presenta soluzioni di continuità per tutto l'asse del cannone: essa è realizzata con tre lamine affiancate tra loro⁴ come si evidenzia dalle "righe nere" visibili sulle lastre radiografiche (freccette); i manicotti (larghi da 60 a 70 mm) e gli anelli di cerchiatura sono formati da singoli pezzi ottenuti per forgiatura da massello e sono calettati/forzati in sequenza sull'anima (ellisse tratteggiata).

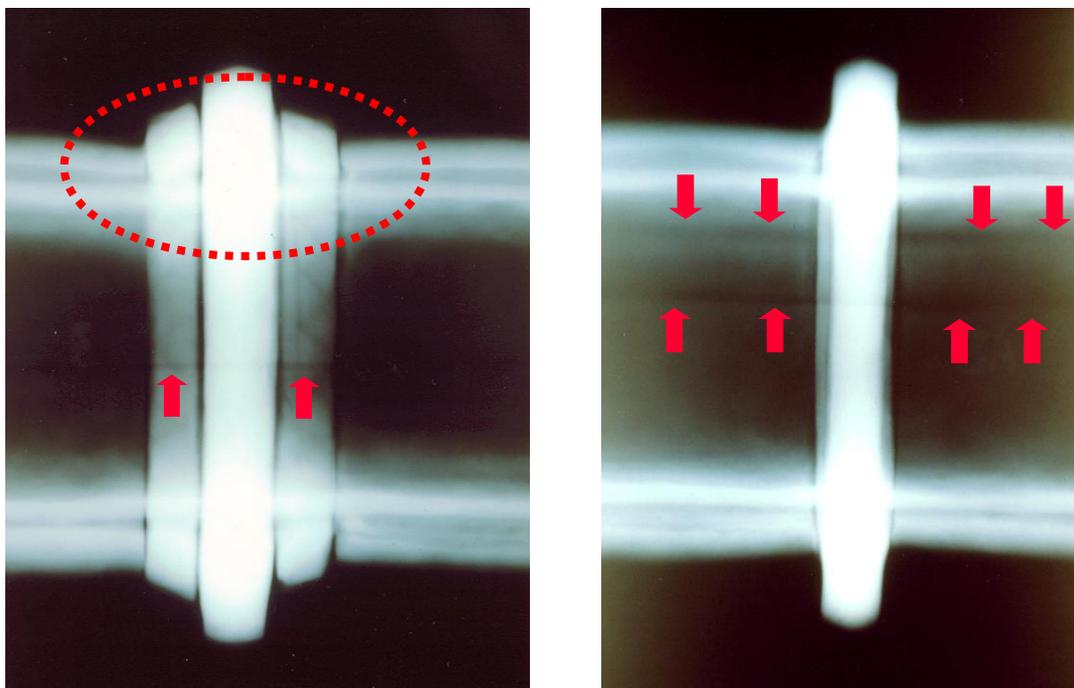


Figura 8: Altri particolari in evidenza sull'immagine radiografica di figura 7 e un'ulteriore immagine radiografica del *reperto lungo* ove è presente un solo anello di cerchiatura.

⁴ Le lamine che formano l'anima della canna sono affiancate e non sovrapposte; le righe nere rappresentano la zona di saldatura caratterizzata dalla presenza di ossidi e scorie (a rigore sarebbe più opportuno parlare di "incollatura" e non di saldatura).

Anche l'esame radiografico eseguito sul *reperito corto* ha confermato le stesse caratteristiche del *reperito lungo*. Si deve quindi ritenere che lo schema costruttivo dei due reperti sia del tutto analogo a quanto schematizzato in figura 2 e descritto nell'introduzione di questo lavoro; la datazione delle due bocche da fuoco può perciò essere collocata in un intervallo temporale che, indicativamente, va dalla fine del XIV all'inizio del XV secolo.

Un ulteriore dettaglio è degno di nota: si osservi l'immagine radiografica di figura 9. Oltre alla solita "riga nera" che indica il punto di giunzione delle lamine che formano l'anima del cannone (freccette), si faccia attenzione all'immagine racchiusa tra le due ellissi tratteggiate. E' evidente un "rigonfiamento" del manicotto di cerchiatura da ricondurre, quasi sicuramente, all'effetto della pressione interna provocata dai gas sprigionati dalla combustione della polvere da sparo: si deve quindi dedurre che il cannone sia stato effettivamente utilizzato come arma da fuoco.

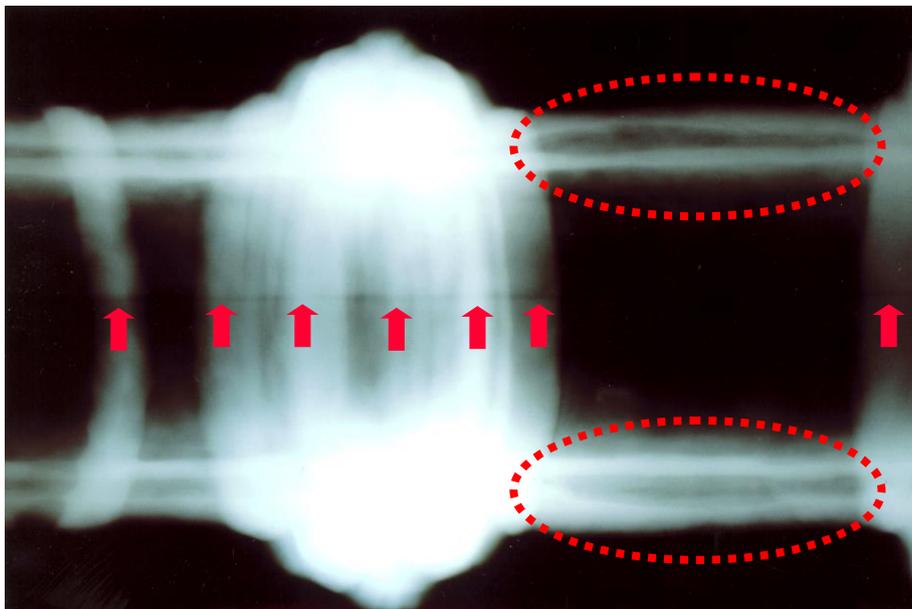


Figura 9: Immagine radiografica del *reperito lungo* in corrispondenza della culatta.

Analisi chimica, esami metallografici e prove di microdurezza

La fase successiva dello studio ha riguardato la determinazione delle caratteristiche chimiche microstrutturali e delle proprietà meccaniche della lega ferrosa utilizzata per la realizzazione delle varie parti costituenti i due reperti. A questo proposito sono state prelevate piccole porzioni di materiale dalla zona dell'anima, dei manicotti e degli anelli di cerchiatura dei due cannoni; di particolare utilità per il prelievo dei campioni è risultata la zona danneggiata del *reperito corto*. In nessun caso, comunque, l'operazione ha compromesso le caratteristiche dei cannoni quali reperti storico museali.

Le analisi chimiche sono state eseguite per via umida. I campioni metallografici sono stati levigati e lucidati con carte abrasive e panni diamantati; per la rilevazione della struttura metallografica si è fatto uso di una soluzione alcolica al 2% di acido nitrico (Nital 2). Le prove di microdurezza sono state effettuate sulla sezione metallografica.

Anima

In tabella I è mostrata l'analisi chimica dell'acciaio dell'anima. In figura 10 è mostrato invece l'aspetto metallografico dell'acciaio: in corrispondenza della superficie interna dell'anima la struttura appare totalmente decarburata (ferrite) mentre, a cuore e sulla superficie, si osserva una struttura prevalentemente perlitica con un grano cristallino fortemente ingrossato. La microdurezza Vickers è 125-140 nella zona ferritica e 200-220 HV nella zona perlitica.

Tabella I: Analisi chimica per via umida dell'acciaio dell'anima (% peso).

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu	Sn	Al	Nb	Ti	Pb	Sb	As
0,04-0,6	0,016	0,001	0,02	0,004	0,03	~ 0	0,011	0,002	0,012	0,002	0,003	0,010	0,010

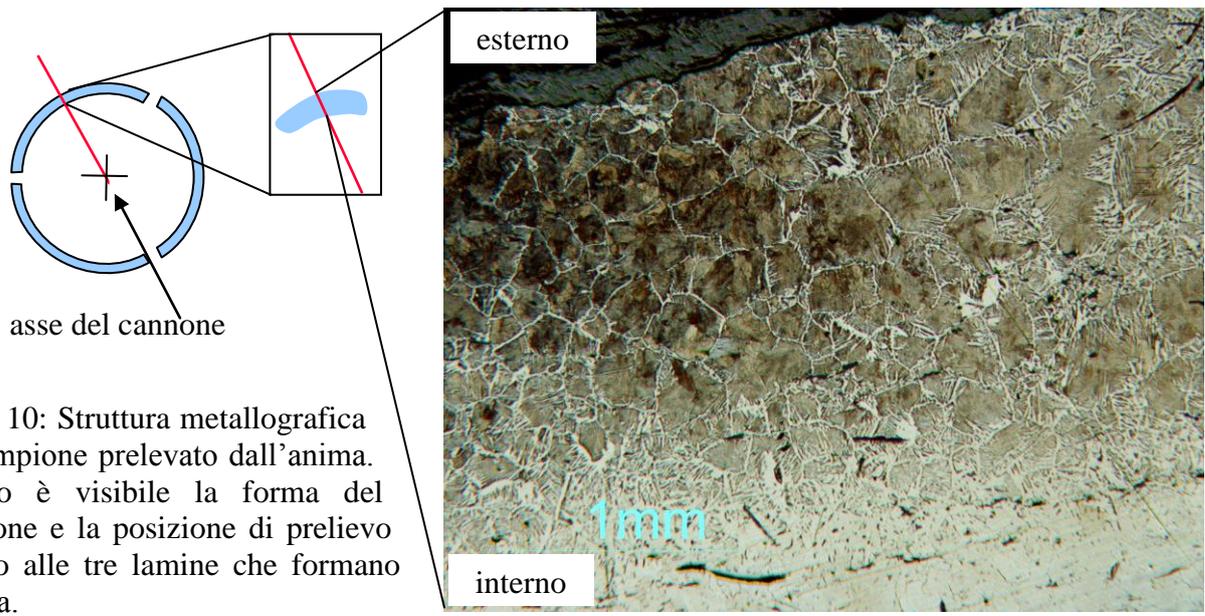


Figura 10: Struttura metallografica del campione prelevato dall'anima. In alto è visibile la forma del campione e la posizione di prelievo rispetto alle tre lamine che formano l'anima.

Il risultato ottenuto fa ipotizzare che la lamina sia stata arricchita di carbonio (carburata) prima di essere forgiata sul mandrino per ottenere l'anima del cannone. L'operazione di forgiatura ha sicuramente richiesto molto tempo e ripetuti riscaldamenti ad elevata temperatura, come si evince dall'ingrossamento del grano cristallino e dalla presenza di ferrite aciculare (struttura di Widmanstätten); la lavorazione ha anche provocato la decarburazione dell'acciaio in corrispondenza del lato in cui la lamina è a contatto con il mandrino di legno verde (lato interno). Questa ipotesi è anche convalidata dalla numerose scaglie di ossido di ferro (vedi analisi EDS eseguita al microscopio elettronico a scansione) presenti sul lato esterno del campione; come osservabile in figura 11 numerose scaglie di ossido sono state proiettate all'interno del campione per effetto del processo di martellatura che ha conferito la forma circolare alla lamina.

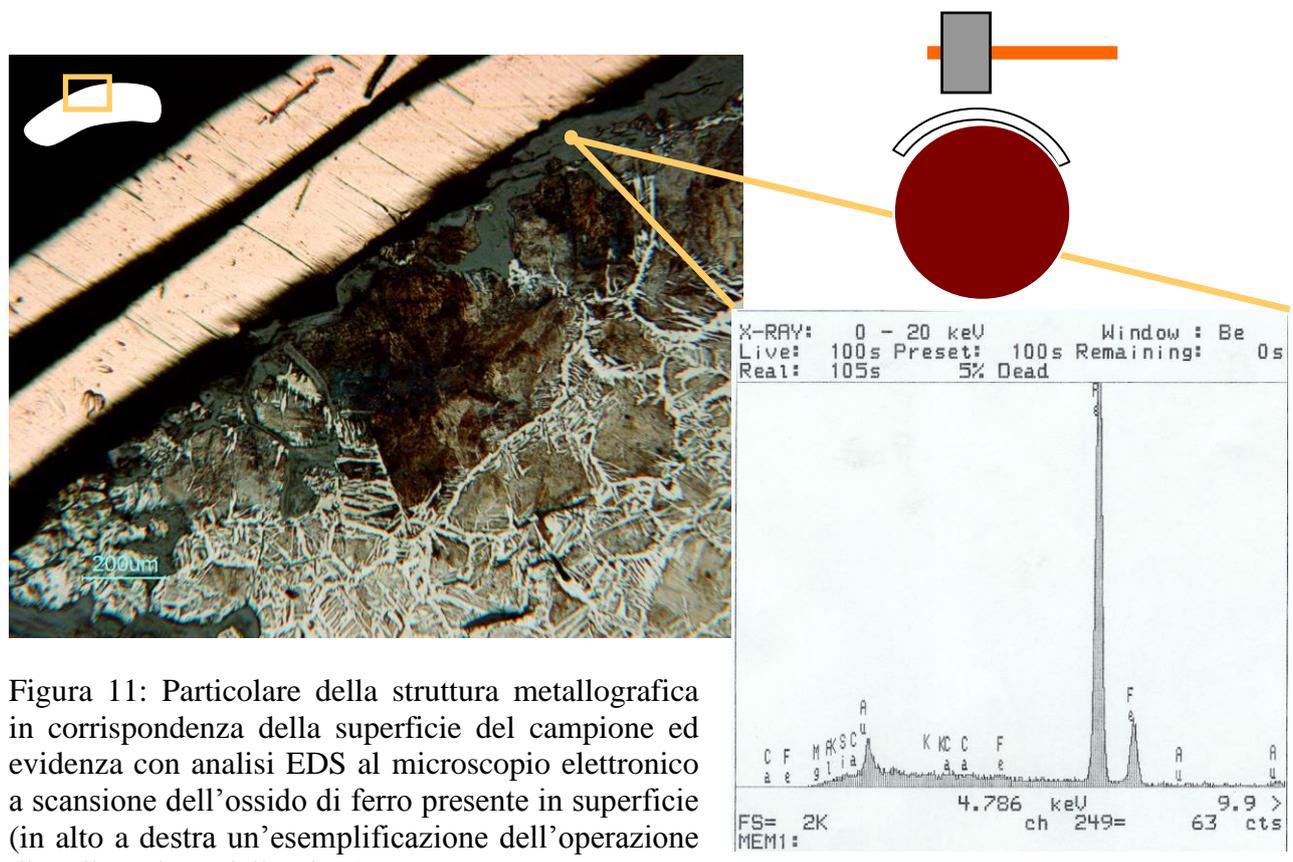


Figura 11: Particolare della struttura metallografica in corrispondenza della superficie del campione ed evidenza con analisi EDS al microscopio elettronico a scansione dell'ossido di ferro presente in superficie (in alto a destra un'esemplificazione dell'operazione di realizzazione dell'anima).

Il campione prelevato dall'anima è molto ricco di inclusioni non metalliche e di scoria del processo produttivo, come è tipico nei reperti metallici delle epoche passate. Un'attenta analisi chimica di tali inclusioni può dare delle indicazioni sul processo di produzione impiegato.

L'esame ha mostrato che tali inclusioni sono costituite, in alcuni casi, da minerale di ferro non sufficientemente ridotto (vedi figura 12) con presenza di ossidi di ferro, silicio, calcio e potassio mentre, in altri casi, invece, si è rilevato un certo numero di ossidi misti in cui l'ossido di ferro è presente in quantità molto limitata (vedi figura 13); talvolta si riscontra anche la presenza di tracce di ossido di titanio.

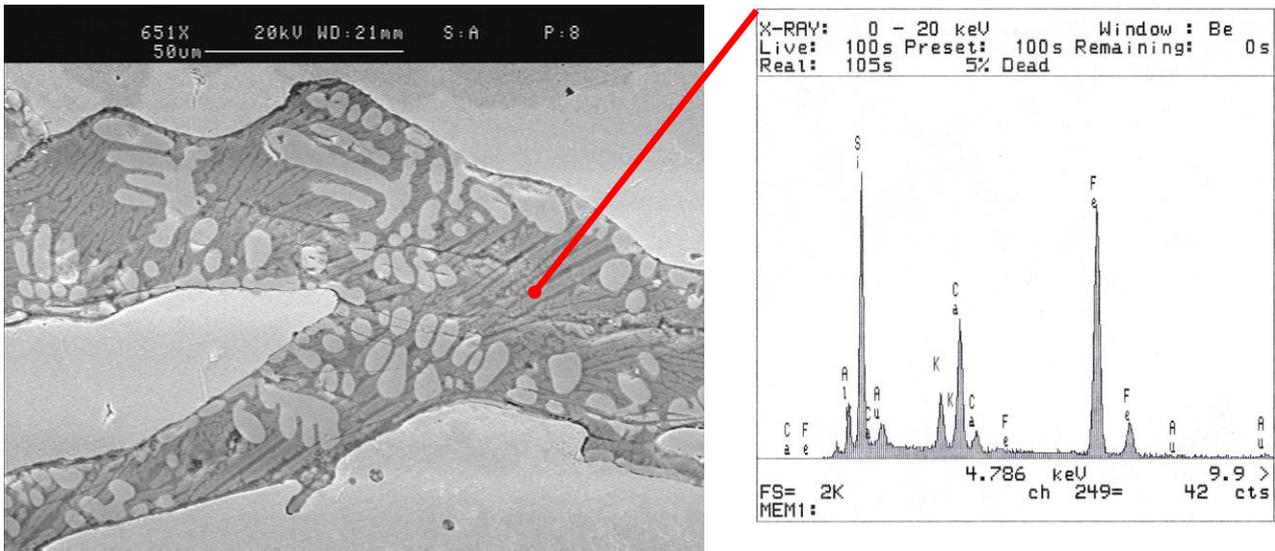
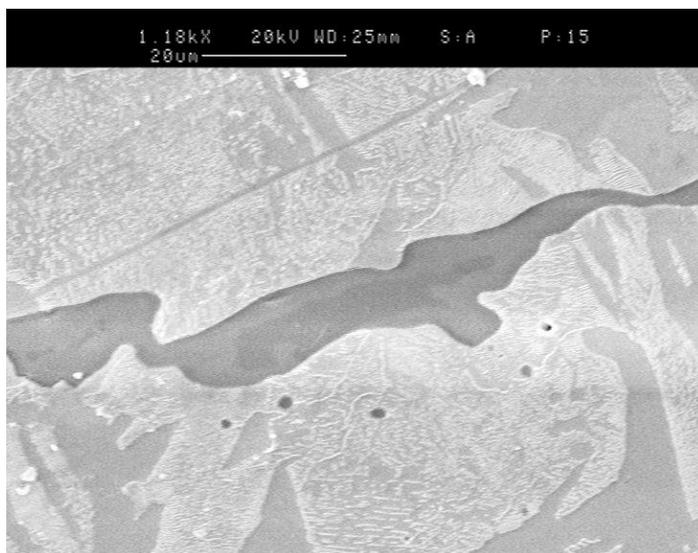


Figura 12: Grossa inclusione di minerale ferroso parzialmente ridotto. La zona chiara è costituita prevalentemente da ferro mentre la zona scura è formata da ossidi di ferro, silicio, calcio, alluminio e potassio (vedi analisi).



Analisi SEM-EDS dell'inclusione

CaO = 11-12%
 FeO = 3-4%
 SiO₂ = 36-38%
 Al₂O₃ = 14-15%
 K₂O = 3-4%
 MnO = 0,3%
 TiO₂ = 0,4%

Figura 13: Grossa inclusione mista tipo ossido. Si noti, nella composizione chimica, il tenore limitato di ossido di ferro e l'anomala presenza di ossido di titanio.

L'analisi chimica e l'analisi inclusionale, in particolare il basso contenuto di ossido di ferro presente in molte inclusioni (FeO ≈ 3%), fa ipotizzare che l'acciaio utilizzato per la realizzazione dell'anima sia stato prodotto con un primitivo forno soffiato e non con un tradizionale basso fuoco. Anche il

calcolo del grado di vetrosità G delle scorie⁵ permette di ottenere un valore molto alto ($G \approx 800$), indice questo di un processo con un avanzato stadio di riduzione del minerale di ferro.

Altre informazioni possono essere desunte dalla presenza di ossido di titanio. Tale elemento non è normalmente presente nei minerali ferrosi e la sua presenza può essere, quindi, considerata un segnale della provenienza del minerale da una ben determinata zona di estrazione.

L'entroterra ligure, in particolare tra Genova e La Spezia, è zona mineralogica ove si riscontra la presenza in tracce di minerali di titanio (titanite, anatasio, ecc...): si deve quindi ritenere assai probabile che i minerali utilizzati per la realizzazione dei due cannoni siano di provenienza locale⁶. Questi due risultati confermano la presenza nell'area ligure di impianti di estrazione di minerale ferroso e permettono di attestare la presenza in loco di primitivi forni soffiati per la produzione di ferro.

Manicotto

In tabella II è mostrata l'analisi chimica dell'acciaio del manicotto. In figura 14 è mostrato invece l'aspetto metallografico dell'acciaio: la struttura non è trattata termicamente ed appare totalmente perlitica ed omogenea; non si osservano zone decarburate in corrispondenza delle superfici esterna ed interna del componente. La dimensione media del grano perlitico è normale ($\sim 40\mu\text{m}$) e la microdurezza Vickers è 200-220 HV.

Tabella II: Analisi chimica per via umida dell'acciaio del manicotto (% peso).

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu	Sn	Al	Nb	Ti	Pb	Sb	As
0,91	0,012	0,001	0,005	0,002	0,01	0,04	0,001	0,001	0,004	0,002	0,003	0,003	0,010

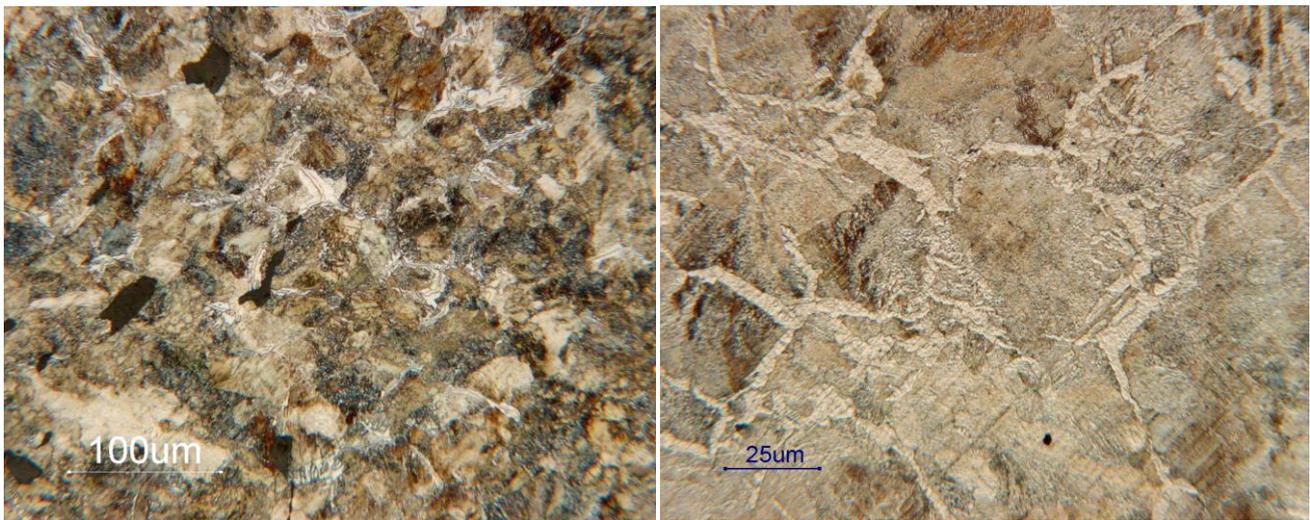


Figura 14: Aspetto metallografico a differenti ingrandimenti della microstruttura dell'acciaio del manicotto.

Anche nel caso del manicotto si può ipotizzare un arricchimento di carbonio del componente (il tenore è pari allo 0,9%). In questo caso, però, è ragionevole pensare che il "mastro artiere" abbia

⁵ Tale parametro è dato dal rapporto tra la sommatoria delle scorie provenienti dalla combustione del carbone di legna (CaO , K_2O , MgO e Al_2O_3) e dalla sommatoria delle scorie provenienti dal minerale di ferro (SiO_2 , FeO , MnO , BaO , P_2O_5). Per valori alti dell'indice (>200) le scorie hanno caratteristica vetrosa e si può assumere che il minerale ferroso abbia subito una riduzione molto spinta. (cfr. V.F.Buchwald, H. Wivel, *Materials Characterisation*, vol. 40, pagg. 73-96, 1998).

⁶ Ci si riferisce qui alle miniere ormai abbandonate di Molinello e di Gambatesa in Val Graveglia nell'entroterra di Chiavari ed alla miniera di Libiola nell'entroterra di Sestri Levante (cfr. *Mineralogical Record*, 32: 360 e 32:356 *Rivista Mineralogica Italiana*, vol. 4, 1998 pag. 131; M. Antofilli, E. Borgo, A. Palenzona, I nostri minerali – geologia e mineralogia in Liguria, Genova, 1988). Non è un caso se la titanite è anche chiamata ligure!

dapprima provveduto alla forgiatura del manicotto e solo successivamente lo abbia carburato con lo scopo di conferirgli maggiore resistenza meccanica; successivamente il manicotto è stato forzato, prima del raffreddamento, sull'anima del cannone realizzata in precedenza.

Come già nel caso dell'anima, anche nel campione prelevato dal manicotto si rilevano numerose inclusioni (vedi figura 15). L'analisi inclusionale conferma quanto già determinato per l'anima ovvero che anche l'acciaio del manicotto sia stato realizzato con un primitivo forno soffiato.

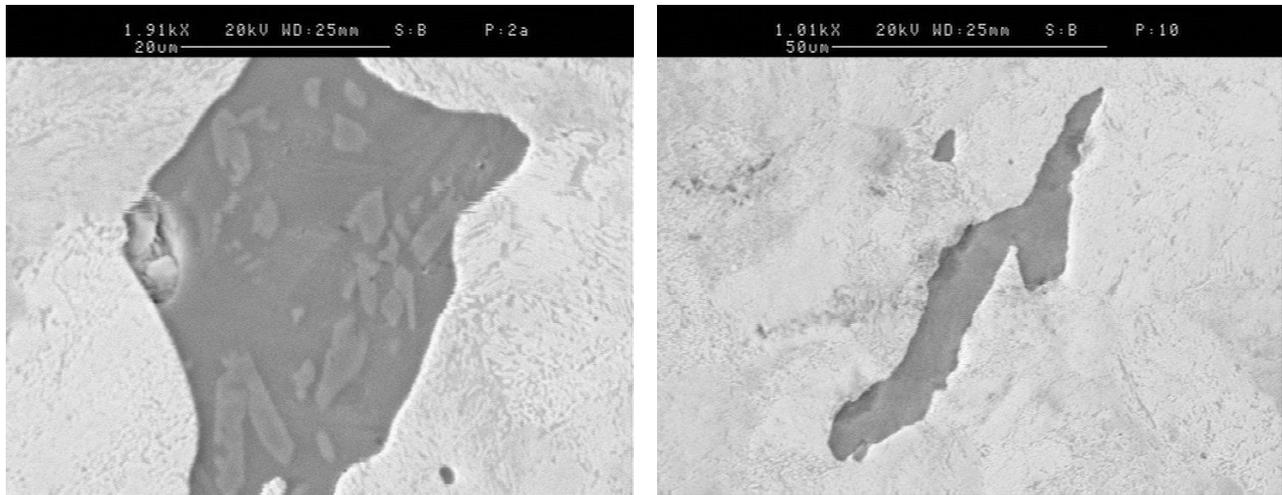
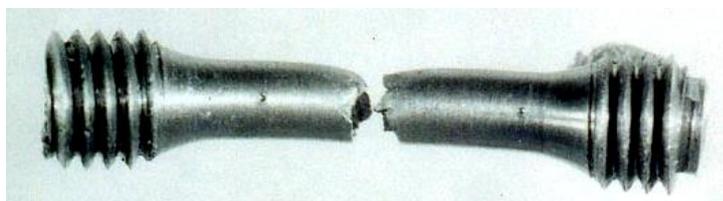


Figura 15: Due tipici esempi delle inclusioni rilevabili nell'acciaio del manicotto.

Nel caso del manicotto è stato possibile realizzare anche una prova di trazione (vedi figura 16): scopo della prova era quello di determinare le caratteristiche di resistenza e di duttilità del componente che deve contenere le pressione interna dei gas di sparo del cannone.



Caratteristiche meccaniche

$$R_m = 315 \text{ MPa}$$

$$R_s = 227 \text{ MPa}$$

$$A = 19\%$$

$$Z = 15\%$$

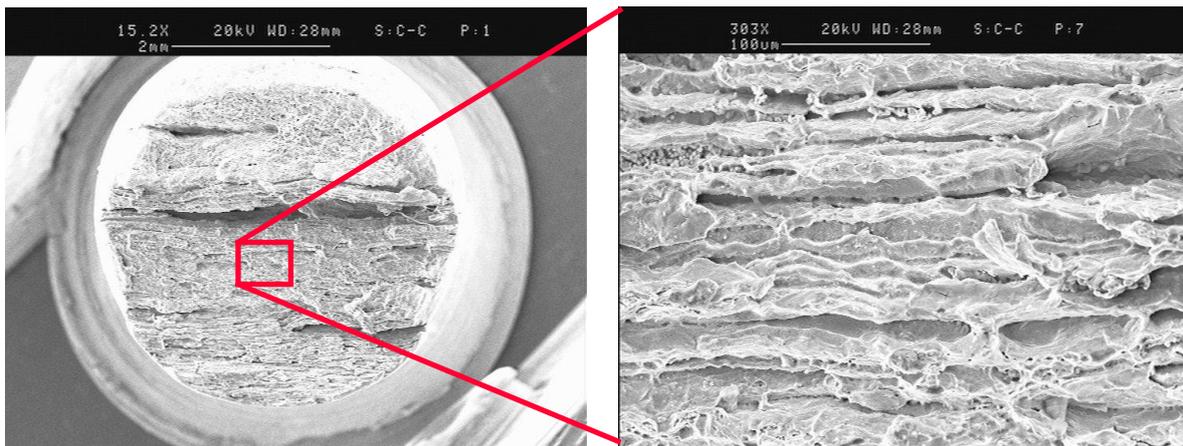


Figura 16: La provetta di trazione prelevata dal manicotto con l'indicazione (a destra) delle caratteristiche meccaniche rilevate. In basso l'esame al SEM della superficie di frattura.

Il risultato ottenuto è piuttosto significativo: anche se i valori del carico unitario di rottura e di snervamento sono bassi e del tutto confrontabili a quelli di un ferro dolce⁷, è da sottolineare

⁷ Anche se il tenore di carbonio è elevato (cosa che farebbe ipotizzare un carico di rottura elevato), vi è un elevato stato inclusionale che riduce la sezione resistente del provino inducendo elevati effetti di intaglio nel materiale.

l'elevata duttilità del materiale. Pur con una strizione limitata, il dato dell'allungamento è significativo di un materiale con comportamento duttile; tale proprietà è confermata anche dalla superficie di frattura, caratterizzata da fenomeni di cedimento con estese aree di plasticizzazione dei microvuoti (*dimples*).

Anello di cerchiatura

In tabella II è mostrata l'analisi chimica dell'acciaio prelevato da uno degli anelli di cerchiatura. In figura 17 è mostrato invece l'aspetto metallografico dell'acciaio: si tratta in questo caso di un acciaio molto dolce (in pratica è, quasi, un ferro puro) con una struttura totalmente ferritica, molto ricca di scoria e di piccole inclusioni di forma tondeggianti. Il grano cristallino non è omogeneo e presenta in alcuni punti un certo grado di incrudimento. La dimensione media, misurata nelle zone con grano equiassico, è dell'ordine dei 30 μ m; la microdurezza Vickers è 150-170 HV.

Tabella III: Analisi chimica per via umida dell'acciaio dell'anello di cerchiatura (% peso)

C	Si	Mn	P	S
0,014	0,20	0,04	0,015	0,024

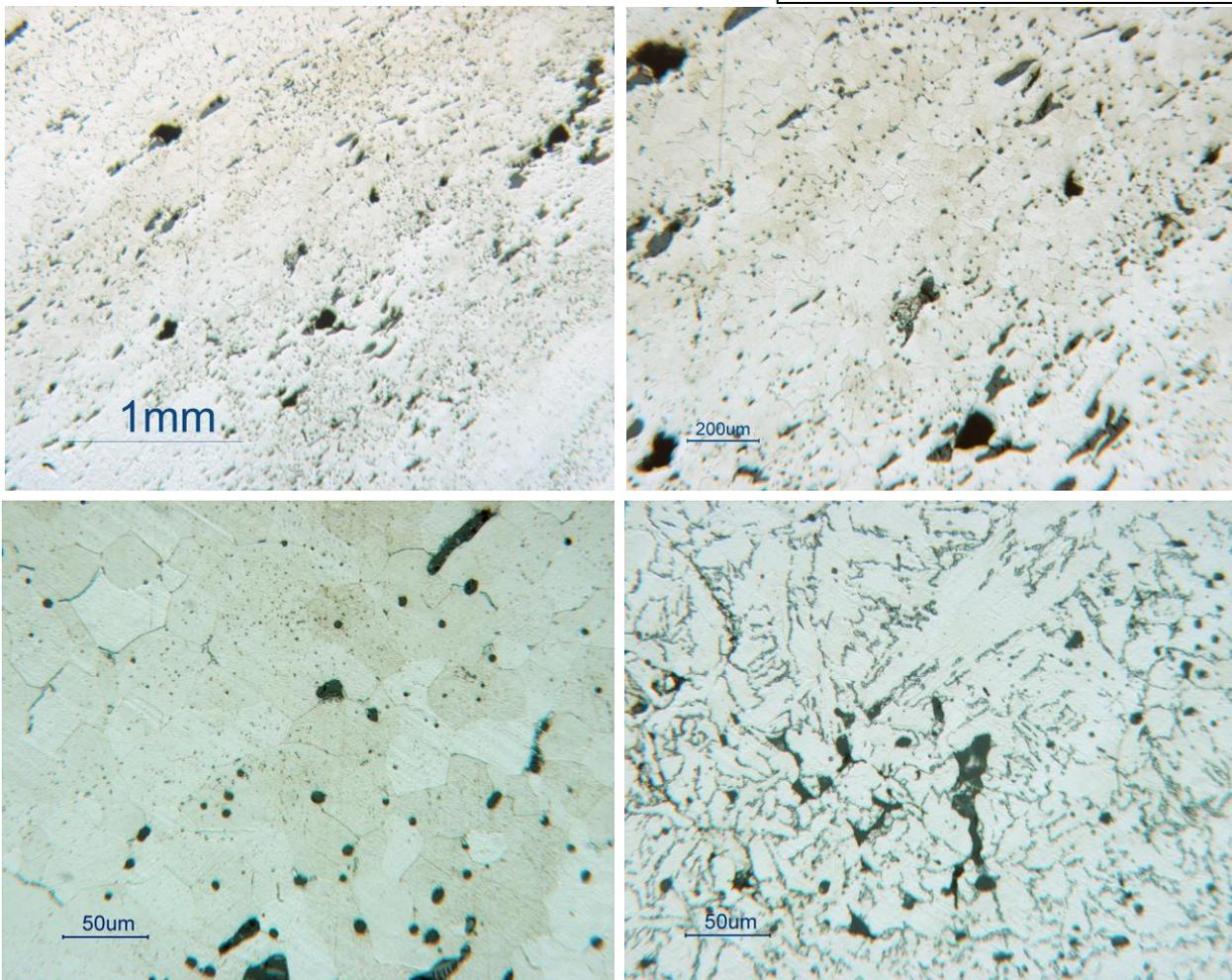


Figura 17: Aspetto metallografico dell'anello di cerchiatura a vari ingrandimenti; a sinistra in basso una zona del campione con grano cristallino equiassico, a destra in basso una zona con grano cristallino incrudito.

L'analisi delle inclusioni ha dato un risultato differente rispetto al caso dell'anima e del manicotto. Tipicamente si tratta di ossidi molto ricchi in ferro e silicio con presenza anche di calcio e

manganese; il grado di vetrosità G^8 è dell'ordine di 10 come è tipico di un acciaio ridotto al basso fuoco (vedi figura 18).

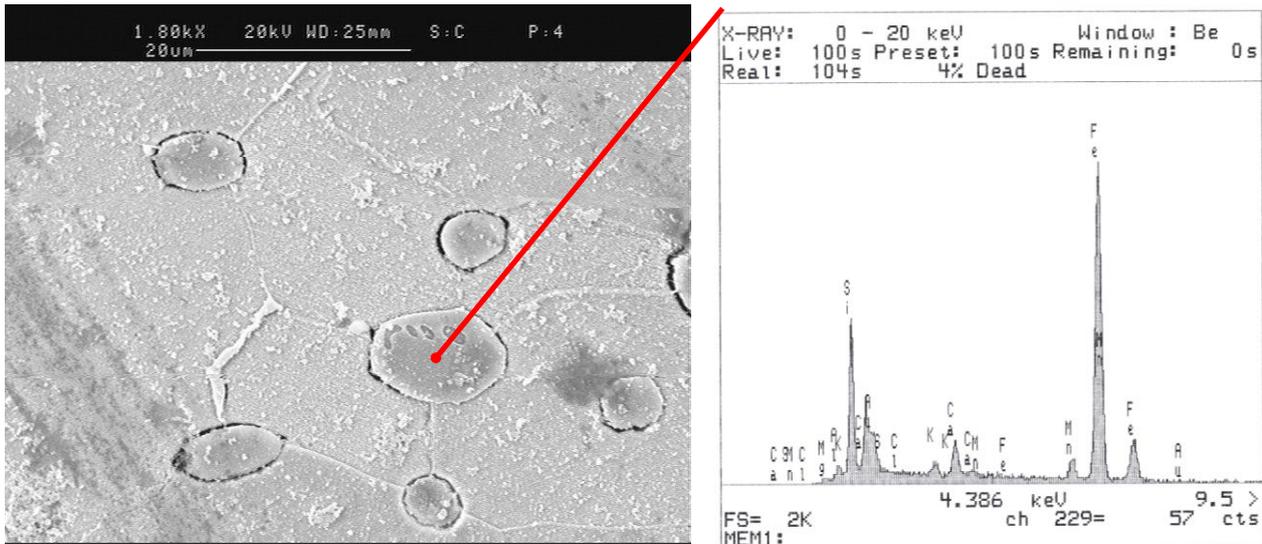


Figura 18: Inclusioni tondeggianti nell'anello di cerchiatura e microanalisi al SEM-EDS.

L'impiego di un acciaio dolce per la realizzazione degli anelli di cerchiatura non sembra essere una scelta casuale: se si considera che su molti anelli sono state fatte delle lavorazioni decorative (si veda ad esempio la figura 5), è preferibile utilizzare un materiale con elevata deformabilità a freddo, ovvero un acciaio con bassissimo tenore di carbonio caratterizzato da limitata durezza.

Analisi degli ossidi superficiali

I campioni prelevati dall'anima, dal manicotto e dall'anello di cerchiatura presentavano sulla superficie uno spesso strato di ossido di ferro, formatosi per effetto dell'esposizione atmosferica durante i vari secoli di vita dei due manufatti; ciò si evince chiaramente anche dalla semplice osservazione visiva dei reperti (vedi figure 4, 5 e 6).

Per ricavare preziose informazioni circa lo stato di conservazione dei reperti, l'ossido superficiale è stato indagato al microscopio elettronico a scansione. Un'esemplificazione dei risultati ottenuti è mostrata in figura 19.

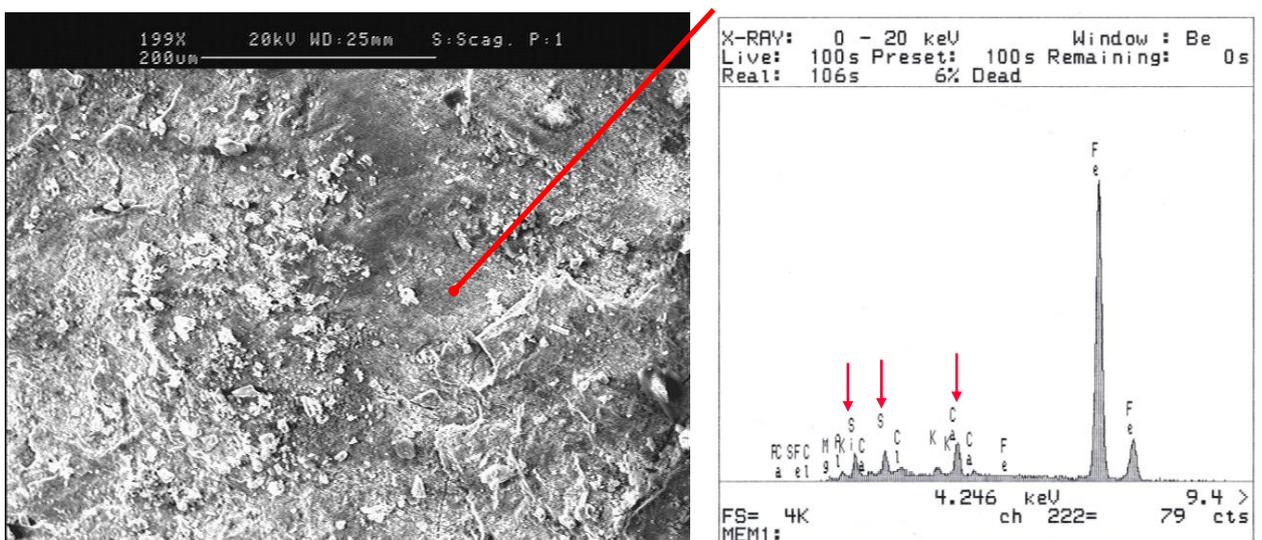


Figura 19: Aspetto dell'ossido di ferro presente sulla superficie dei campioni e microanalisi al SEM-EDS.

⁸ Vedi nota 5.

La strato superficiale di ossido si presenta molto compatto ed esente da cricche o fessurazioni che possano compromettere l'integrità museale dei due reperti. Si noti che l'analisi chimica superficiale non mostra alcuna contaminazione di cloro o di elementi presenti nei sali marini (Mg, Na, K): sembra quindi ragionevole escludere l'impiego navale dei due cannoni esaminati che potrebbero, invece, essere stati utilizzati da postazioni fisse.

Conclusioni

Il lavoro svolto sulle due bocche da fuoco esposte presso il Museo del Castello di La Spezia ha permesso di ricavare interessanti conclusioni circa la tipologia, le caratteristiche dei reperti, la loro tecnologia di fabbricazione ed i materiali impiegati.

1. I due cannoni oggetto di indagine sono armi a retrocarica e sono stati realizzati in ferro/acciaio mediante la tecnica della cerchiatura. Questa particolare tipologia di pezzo d'artiglieria così come la sua metodica di fabbricazione ha preso piede nell'Europa occidentale all'incirca tra il 1380 e il 1450 prima dell'avvento dei cannoni ad avancarica ottenuti per fusione. I risultati ottenuti con il presente lavoro attestano l'esistenza dei cannoni cerchiati anche nell'area ligure (Genova - La Spezia), unitamente alle competenze tecnologiche per la loro realizzazione⁹.
2. Gli esami metallurgici intesi a caratterizzare i materiali hanno evidenziato la notevole competenza dei "mastri artieri" italiani che hanno realizzato i due cannoni: in particolare è significativo osservare la differenziazione dei materiali impiegati per produrre le varie parti costituenti i cannoni (anima, manicotti e anelli di cerchiatura).
3. Gli acciai impiegati per la realizzazione delle varie parti dei due cannoni permettono di ricavare utili informazioni anche sui processi di fabbricazione dell'acciaio: oltre al classico processo al basso fuoco, gran parte dell'acciaio impiegato per i due cannoni è stato prodotto con un primitivo forno soffiato. Si può quindi attestare, a cavallo del 1400, la presenza di tali tipi di impianti in questa particolare area geografica.
4. Tutti gli esami svolti hanno mostrato, infine, l'elevata qualità dei prodotti ferrosi ottenuti dai "mastri artieri" italiani, qualità che non ha nulla da invidiare a quella dei prodotti ferrosi a noi storicamente più vicini.
5. Circa il possibile impiego dei due cannoni si possono fare solo delle ragionevoli supposizioni: dando per scontato che i due pezzi fossero utilizzati nella area spezzina, è ragionevole ritenere, sulla base degli esami effettuati, che abbiano avuto un impiego terrestre e non navale. Come ipotesi si potrebbe pensare ad un loro uso nelle opere di difesa del Castello di La Spezia o della Cittadella, fortificazioni nate nella città alla fine del XIV secolo¹⁰.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Dott.ssa D. Alessi per la cortesia e la disponibilità dimostrata durante le visite al Museo del Castello di San Giorgio di La Spezia e la Sig.ra C. Farina e il Sig. M. Muscionico per la fattiva collaborazione nella realizzazione del presente lavoro di ricerca.

⁹ Non esiste, purtroppo, un censimento completo delle bocche da fuoco di questo tipo presenti sul territorio italiano. A quanto è noto agli autori del presente lavoro, la costruzione dei cannoni cerchiati è attestata nell'Italia tardo medievale nelle aree milanese, bresciana, veneziana, fiorentina e pisana.

¹⁰ Si veda al proposito G. Rossigni, M. Ratti, Il Castello di San Giorgio alla Spezia, La Spezia, 1998.