

RAPPORTO TECNICO RELATIVO AI RISULTATI DELLE INDAGINI MICROCHIMICHE E MICROSTRUTTURALI DI MANUFATTI IN FERRO E SCORIE RINVENUTI A BAZZANO

Mediante l'uso combinato di microscopia ottica ed elettronica è stata condotta un'indagine finalizzata alla definizione di alcuni aspetti microchimici e microstrutturali di manufatti in ferro e scorie rinvenuti a Bazzano durante lo scavo archeologico.

Le tecniche diagnostiche utilizzate sono state: microscopia elettronica a scansione abbinata ad analisi a dispersione d'energia (SEM-EDS) e microscopia ottica (OM).

Per quanto riguarda gli aspetti sperimentali, le indagini sono state condotte mediante l'utilizzo di un microscopio elettronico Cambridge 360 con filamento LaB₆ dotato di rivelatori sia ad elettroni secondari sia ad elettroni retrodiffusi e di un sistema INCA 300 per microanalisi EDS.

Lo studio delle sezioni dei manufatti selezionati è stato condotto utilizzando un microscopio Leica MEF IV (luce polarizzata) dotato di fotocamera digitale collegata ad un computer che tramite un software specifico permette la gestione delle immagini.

Qui di seguito sono riportati i risultati più significativi ottenuti dallo studio di un anello (t. 692, 1; **Taf. 218, 1**), un chiodo (t. 897, 2; **Taf. 317, 2**), una scoria (trovata durante gli scavi d'Ercole 2002 nel lotto Otefal), una immanicatura ed una spada (t. 406, 2; **Taf. 115, 2**) accompagnati da relativa discussione ed alcuni commenti.

ANELLO (= DISCHETTO DELL'IMPUGNATURA DEL PUGNALE A STAMI DELLA TOMBA 692; Taf. 218, 1)

La micrografia in alto a sinistra evidenzia stringhe di micro-inclusioni allungate la cui orientazione parallela è indotta dall'opera di battitura condotta per rendere compatto il blumo metallico e sagomare quindi il manufatto (processo di forgiatura condotto a caldo) (**fig. 1**).

Nelle micro-cavità sono presenti frammenti di inclusioni generalmente costituite da una fase vetroso-silicatica, da fayalite (FeSiO₃) e da wustite (FeO), non separati durante la fase di produzione della massa metallica e non espulsi completamente durante la successiva fase di lavorazione meccanica a caldo (forgiatura). Si ricorda che minore è la quantità di inclusioni e di frammenti di scoria intrappolati, migliore è la qualità del manufatto, poiché le proprietà finali (meccaniche) sono influenzate anche dalla presenza di tali fasi eterogenee. Il manufatto (**fig. 2**) presenta alcune zone essenzialmente ferritiche, cioè non carburate e trasformate in acciaio come quelle mostrate nelle due micrografie ove, oltre alla struttura ferritica, si nota anche una rilevante presenza di inclusioni e micro-cavità dovute ad un'attività di battitura a caldo non completa e ottimale. La dimensione del grano ferritico è largamente variabile e tendente alla forma equiassica.

* CNR-ISMN.

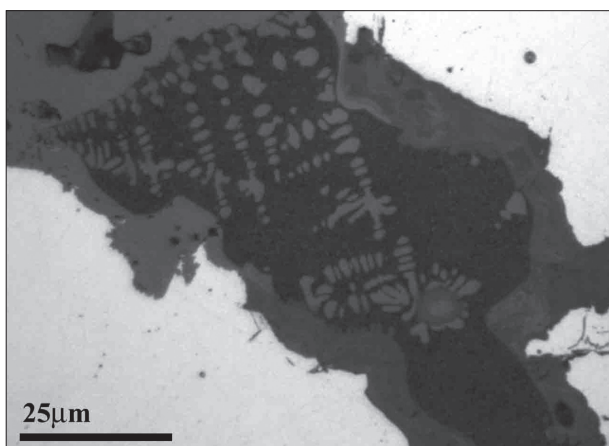
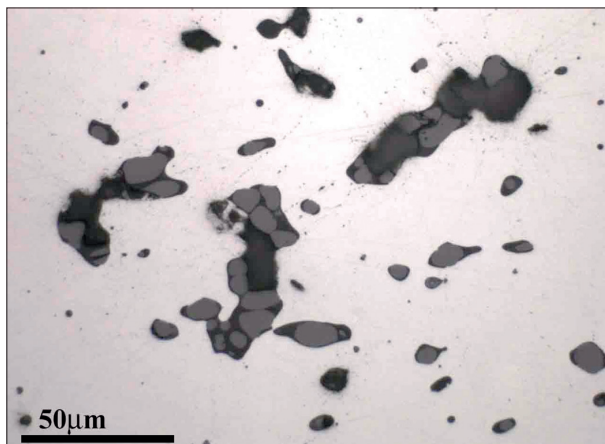
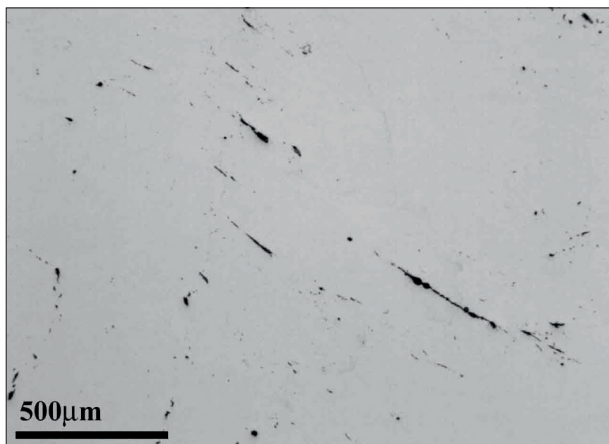


Fig. 1 Immagini ottiche della sezione dell'anello.

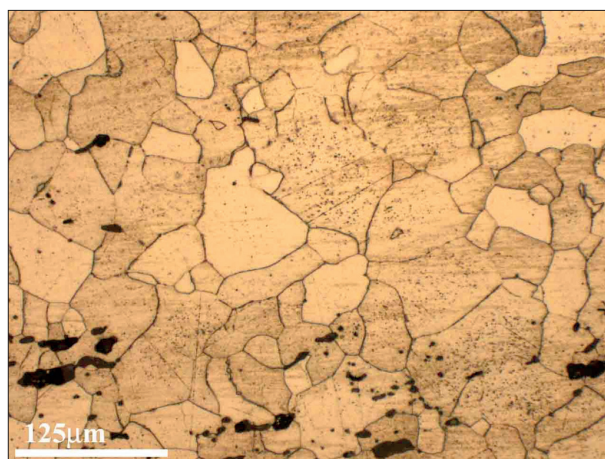
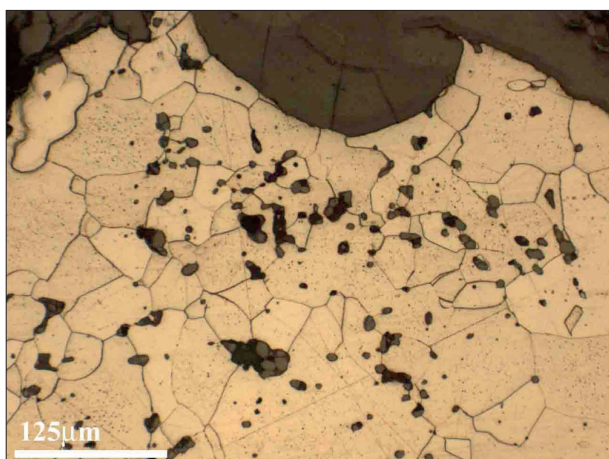


Fig. 2 Immagini ottiche relative alla sezione dell'anello dopo attacco metallografico (Nital 2 %).

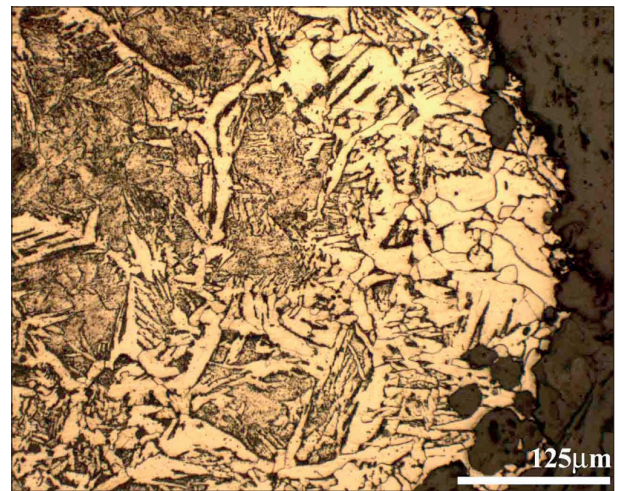
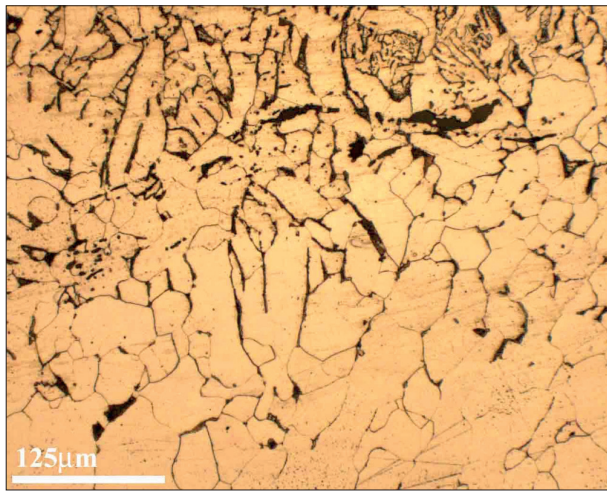


Fig. 3 Immagini ottiche della sezione dell'anello dopo attacco metallografico (Nital 2 %).

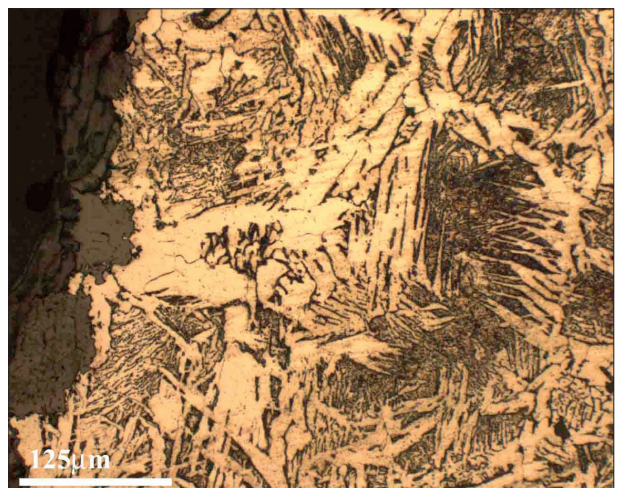
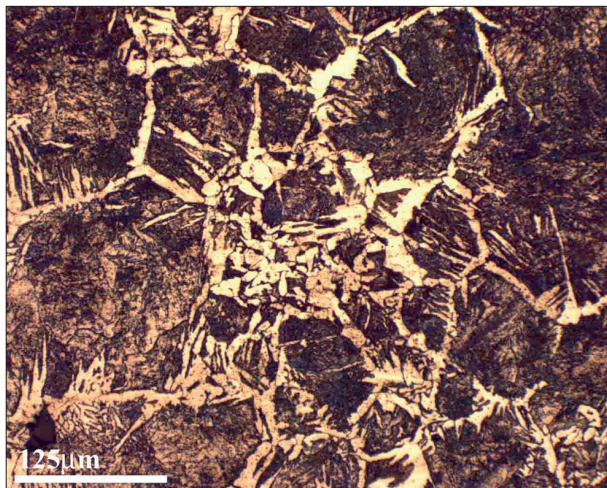


Fig. 4 Immagini ottiche della sezione dell'anello dopo attacco metallografico (Nital 2 %).

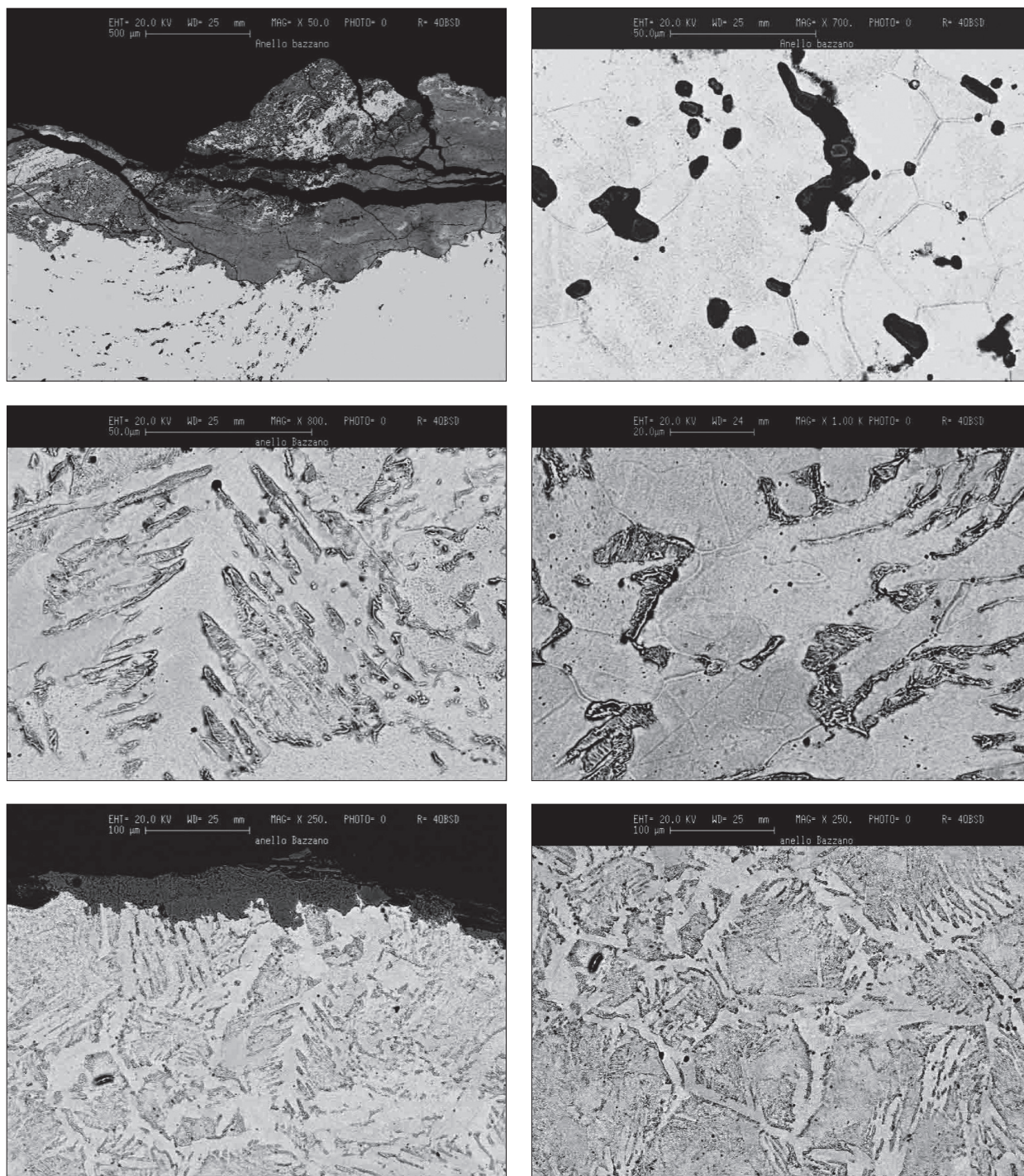


Fig. 5 Immagini elettroniche della sezione dell'anello dopo attacco metallografico (Nital 2%).

Il manufatto (**fig. 3**) presenta una struttura disomogenea per quanto riguarda la sua trasformazione da ferro in acciaio: infatti, sono presenti zone ferritiche (micrografie precedenti e micrografia a sinistra, parte bassa dell'immagine) non carburate e zone ove è presente una struttura carburata perlitica (Widmānstätten) con presenza di sottili lamine di cementite (carburo di ferro) alternate a ferrite (Fe), cioè zone completamente trasformate in acciaio (micrografia a sinistra, parte alta dell'immagine e micrografia a destra) in quanto sottoposte a carburazione intenzionale e tempra per incrementare la durezza.

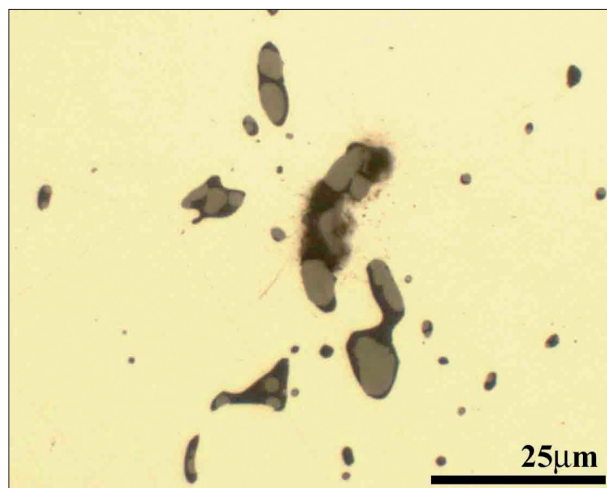
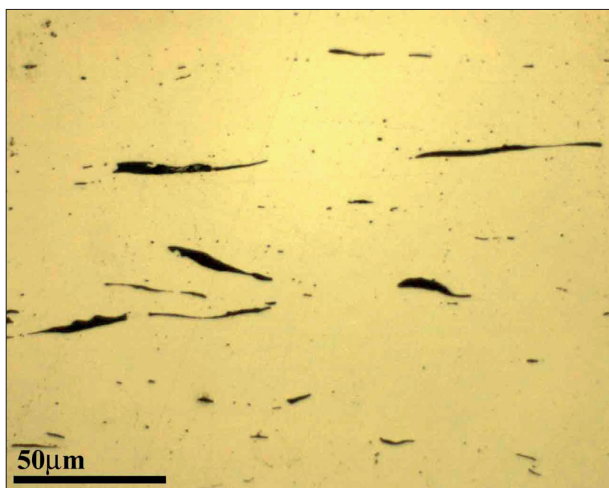


Fig. 6 Immagini ottiche della sezione del chiodo.

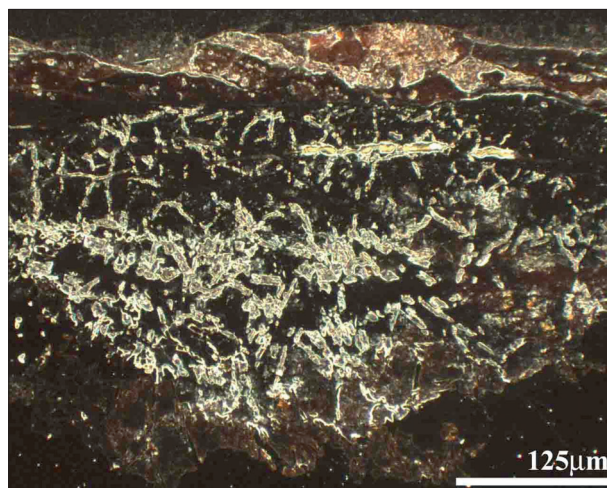
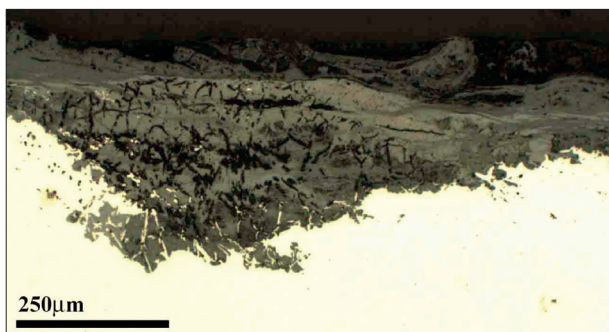


Fig. 7 Immagini ottiche della sezione del chiodo.

Il processo di carburazione in alcune aree dell'anello ha indotto infatti la formazione di zone totalmente perlitiche (dal tipico profilo a denti di sega) con presenza anche di martensite (micrografia a destra) ove il carbonio potrebbe essere stimato essere circa 0.4 %.

La disomogeneità dovuta alla presenza di zone carburate e zone non carburate può essere stata indotta da un non ottimale contatto fra massa ferritica (blumo o manufatto in fase di forgiatura) e carbone ad alta temperatura o da un tempo troppo breve di carburazione.

In questa zona dell'anello (**fig. 4**), il manufatto presenta una struttura perlitica (dal tipico profilo a denti di sega, composta da sottili lamine di cementite [carburo di ferro, la cui presenza è indotta dal processo di carburazione che ha provocato la formazione anche di martensite] alternate a ferrite [Fe]). Il carbonio nelle aree composte da acciaio (zone carburate) potrebbe essere stimato intorno allo 0.4 %.

Il manufatto (**fig. 5**) presenta una struttura disomogenea per quanto riguarda la sua trasformazione da ferro in acciaio. Sono presenti zone essenzialmente ferritiche non carburate, aree ove sono presenti rare formazioni perlitiche (prima fila di immagini) e zone ove è presente una struttura perlitica (seconda fila di

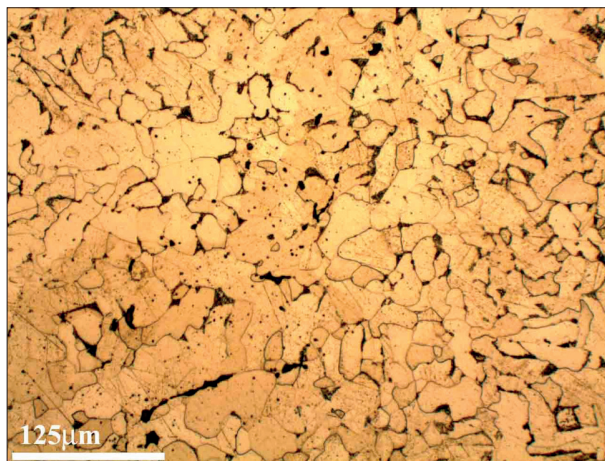


Fig. 8 Immagini ottiche della sezione del chiodo dopo attacco metallografico (Nital 2 %).

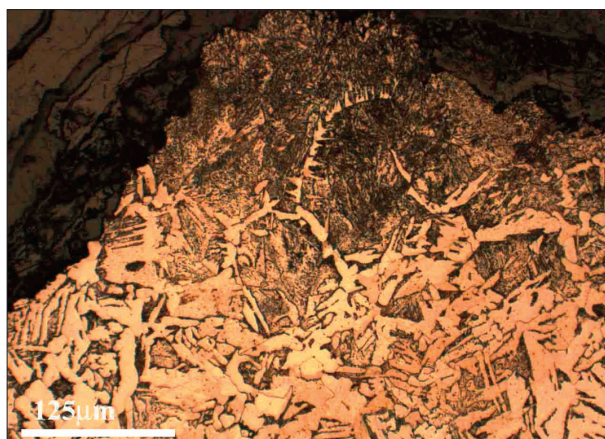
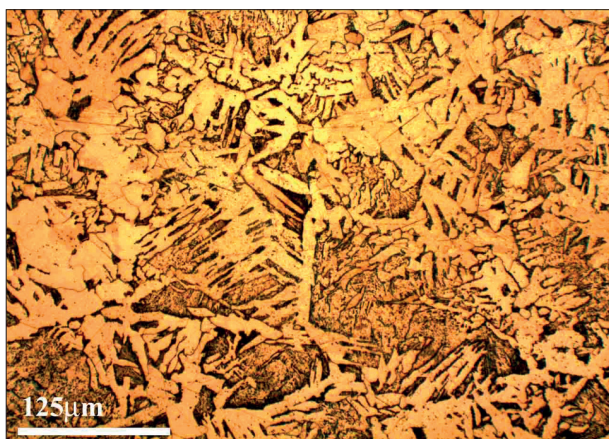
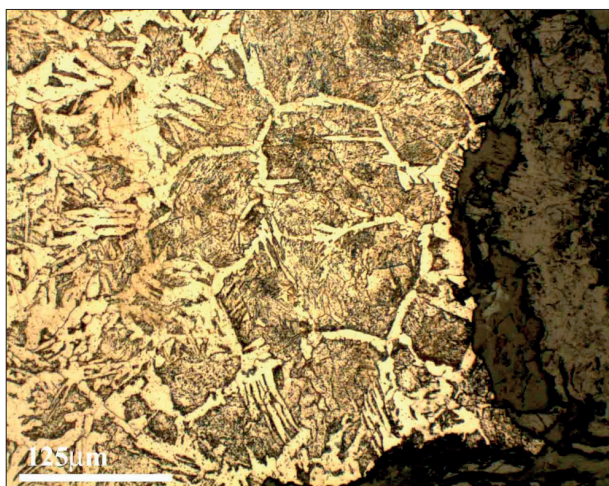


Fig. 9 Immagini ottiche della sezione del chiodo dopo attacco metallografico (Nital 2 %).

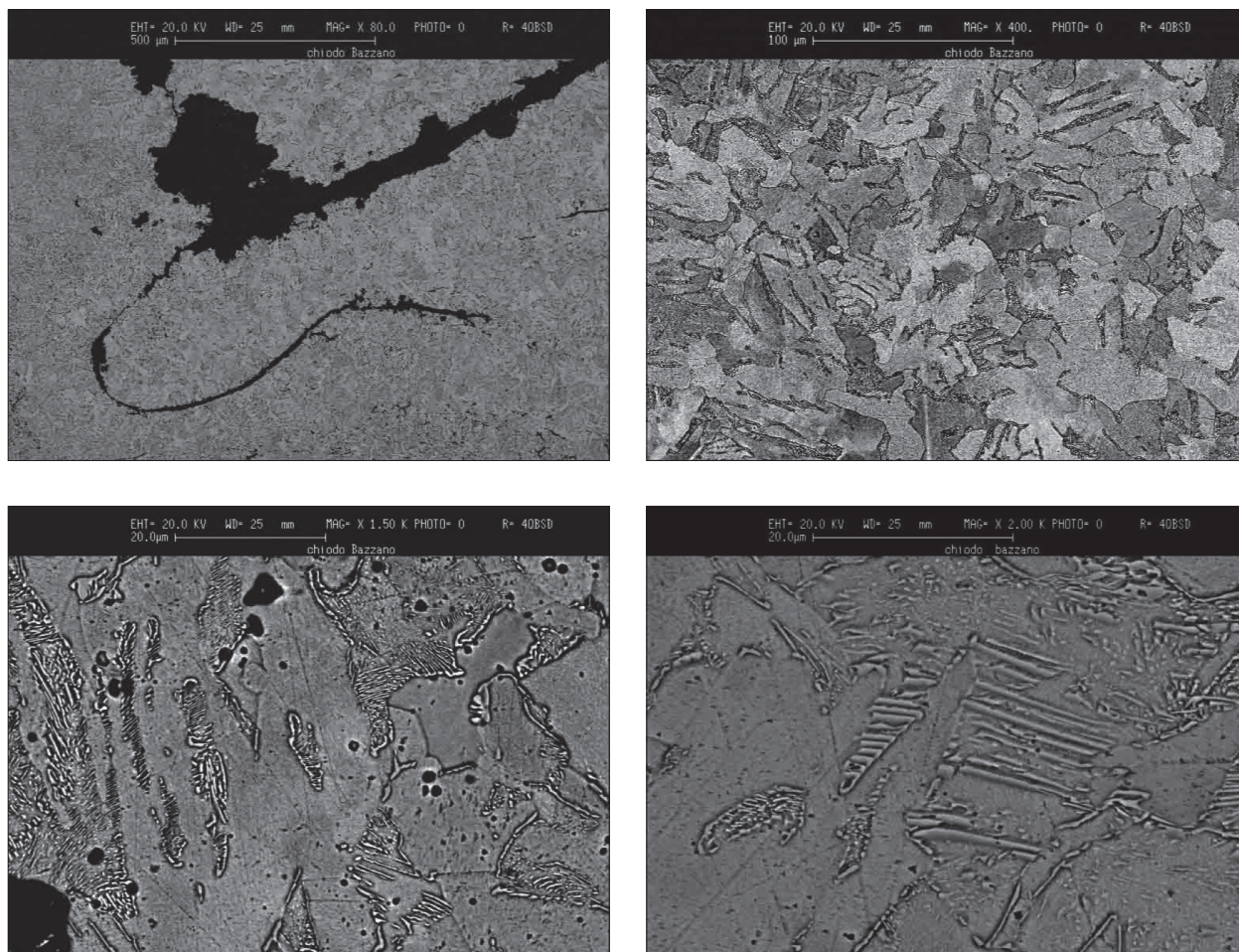


Fig. 10 Immagini elettroniche della sezione del chiodo dopo attacco metallografico (Nital 2 %).

immagini) anche consistente (terza fila di immagini) per la presenza di carburi di ferro (Widmānstätten), cioè zone trasformate in acciaio. Il processo di carburazione ha indotto infatti la formazione di zone totalmente perlitiche con presenza anche di martensite (micrografia a destra) ove il carbonio potrebbe essere stimato intorno allo 0.4 %.

CHiodo (TOMBA 897; Taf. 317, 2)

La micrografia a sinistra (**fig. 6**) evidenzia stringhe di inclusioni allungate e la cui orientazione parallela è indotta dall'opera di battitura condotta per rendere compatto il blumo e per sagomare il manufatto metallico (forgiatura). Nelle micro-cavità sono presenti frammenti inclusionali generalmente costituiti da una fase vetroso-silicatica, da fayalite (FeSiO_3) e da wustite (FeO), non espulsi durante la lavorazione meccanica a caldo del materiale.

Nella zona più esterna del manufatto (**fig. 7**), anche se trasformata in prodotti di corrosione, le micrografie evidenziano la presenza di strutture perlitiche indotte da carburazione intenzionale della superficie (trasformazione da ferrite in acciaio).

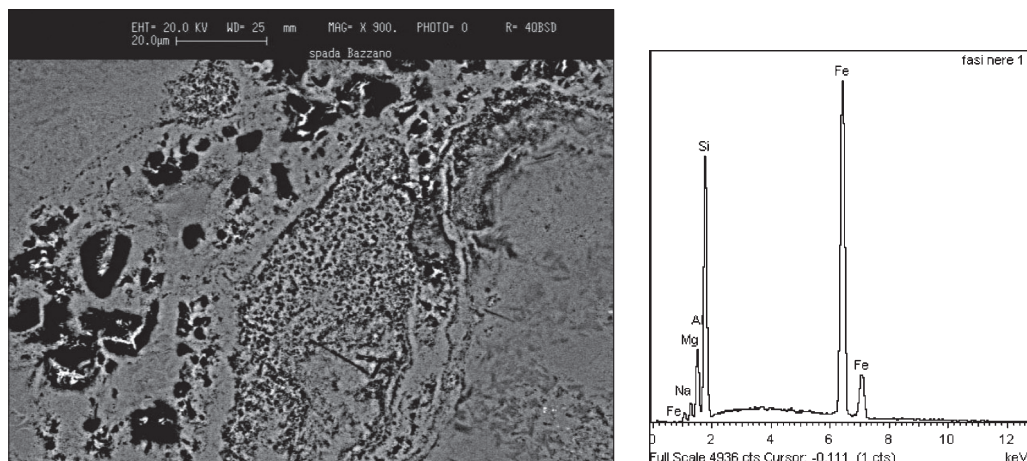


Fig. 11 Il frammento di spada esaminato è completamente mineralizzato e composto da prodotti di corrosione. All'interno sono ancora presenti inclusioni composte da fayalite (FeSiO_3).

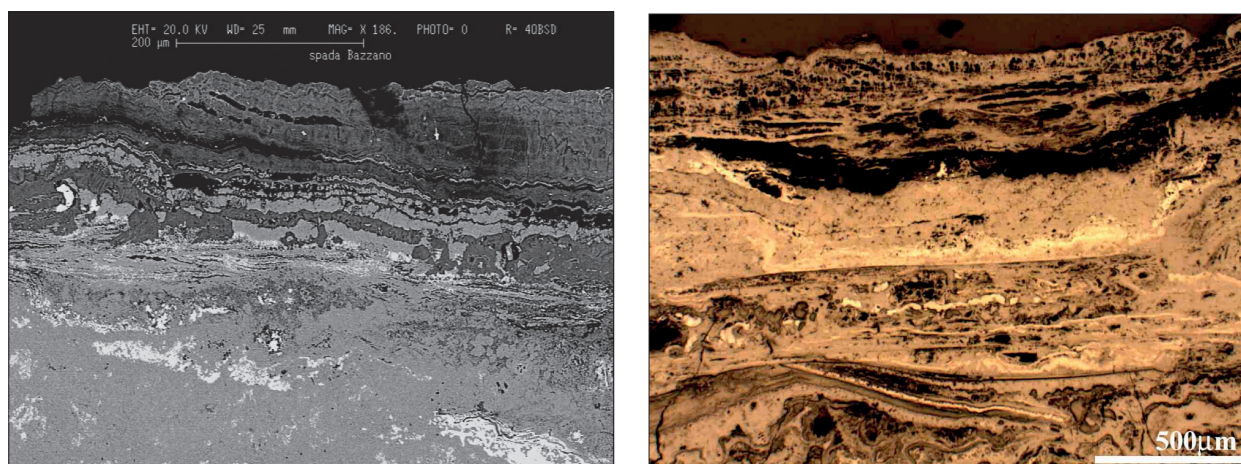


Fig. 12 Il frammento di spada esaminato è completamente mineralizzato e composto da prodotti di corrosione disposti a strati sovrapposti anche in relazione al lavoro di battitura a caldo condotta per sagomare il manufatto.

Il manufatto (**fig. 8**) presenta zone essenzialmente ferritiche, cioè non carburate e non trasformate in acciaio, come quelle mostrate nelle due micrografie, ove si nota anche una rilevante presenza di inclusioni e micro-cavità dovute ad un'attività di battitura a caldo non completa. Tali zone sono generalmente localizzate all'interno del manufatto, e suggeriscono una parziale carburazione del manufatto solo sulla superficie. Nelle zone più esterne del chiodo (**fig. 9**), il manufatto presenta una struttura perlitica (dal tipico profilo a dente di sega) per la presenza di carburi di ferro (figure di Widmännstätten) indotta dal processo di carburazione che ha provocato la formazione di zone totalmente perlitiche con presenza anche di martensite. In queste zone il carbonio potrebbe essere stimato intorno allo 0.4 %.

Il manufatto (**fig. 10**) presenta nella zona osservata tracce evidenti di lavorazione meccanica (battitura e piegatura del manufatto) condotta a caldo e, inoltre, una tipica struttura carburata ove sono presenti formazioni perlitiche composte da sottili lamine di cementite (carburo di ferro) alternate a ferrite (Fe), cioè zone trasformate in acciaio.

SPADA (TOMBA 406; Taf. 115, 2)

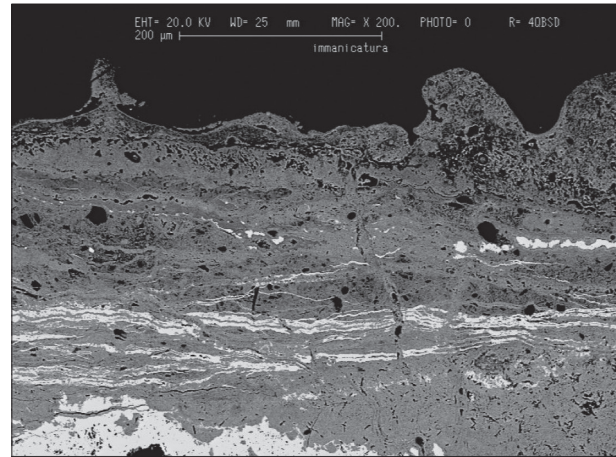


Fig. 13 Il frammento di immanicatura esaminato è completamente mineralizzato e composto da prodotti di corrosione disposti a strati sovrapposti anche in relazione al lavoro di battitura a caldo condotta per sagomare il manufatto.

IMMANICATURA DELLA SPADA (TOMBA 406; Taf. 115, 2)

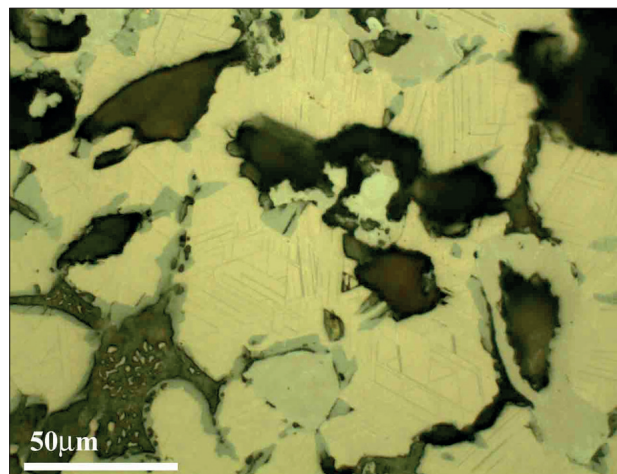
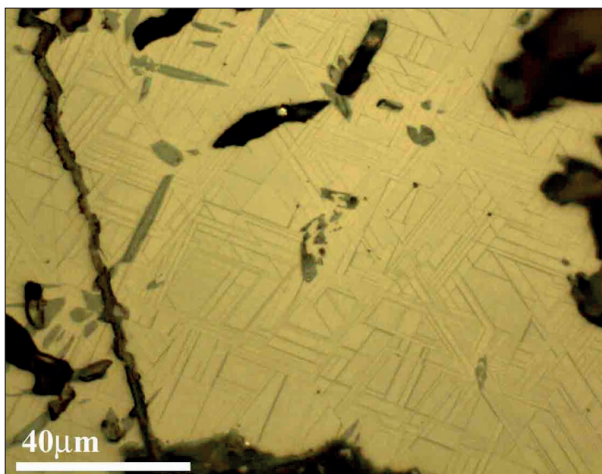
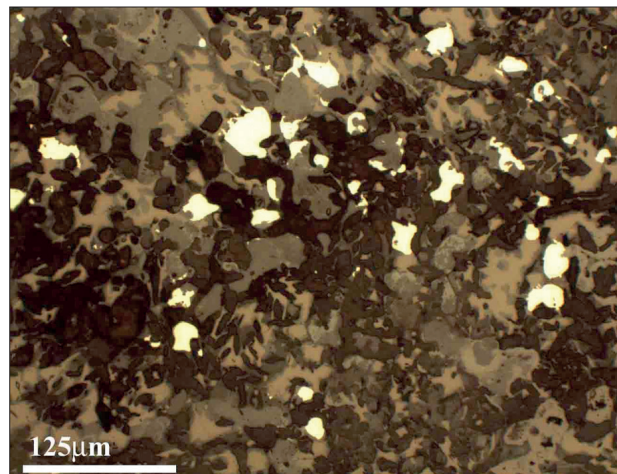
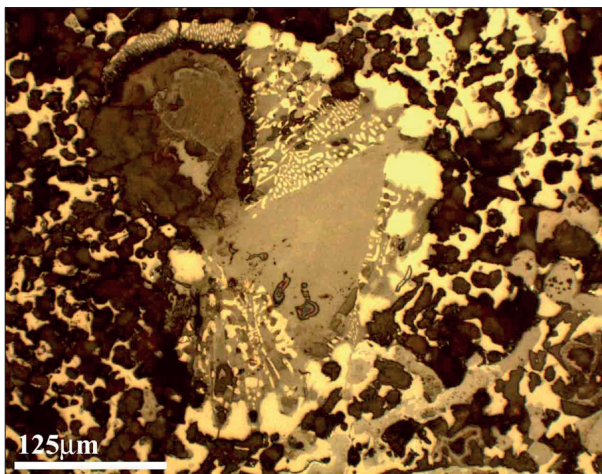


Fig. 14 Immagini ottiche della sezione del manufatto definito come scoria. Sono presenti fasi vetroso-silicatiche, fayalite (cristallo triangolare al centro della micrografia a sinistra, FeSiO_3), wustite (FeO) e ferro metallico (vedi micrografia a destra).

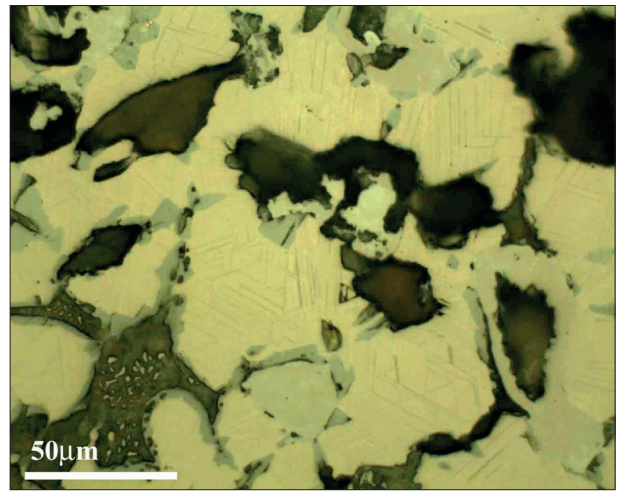
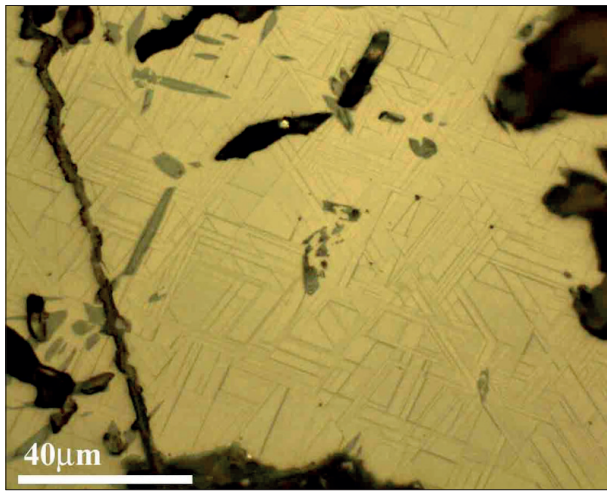


Fig. 15 Immagini ottiche della sezione del manufatto definito come scoria. Sono presenti fasi vetroso-silicatiche e wustite (FeO) dal tipico pattern triangolare (Widmännstatten).

SCORIA (DALL'AREA OTEFAL, SCAVI D'ERCOLE 2002)

Sono presenti fasi vetroso-silicatiche, fayalitiche (FeSiO_3), e wustite (FeO) dal tipico pattern triangolare (Widmānstätten) (fig. 16).

I risultati indicano che tale manufatto è una massa costituita essenzialmente da wustite (FeO) e non è propriamente una scoria ferrosa, ove la quantità di fasi vetroso-silicatiche e fayalite è maggiore.

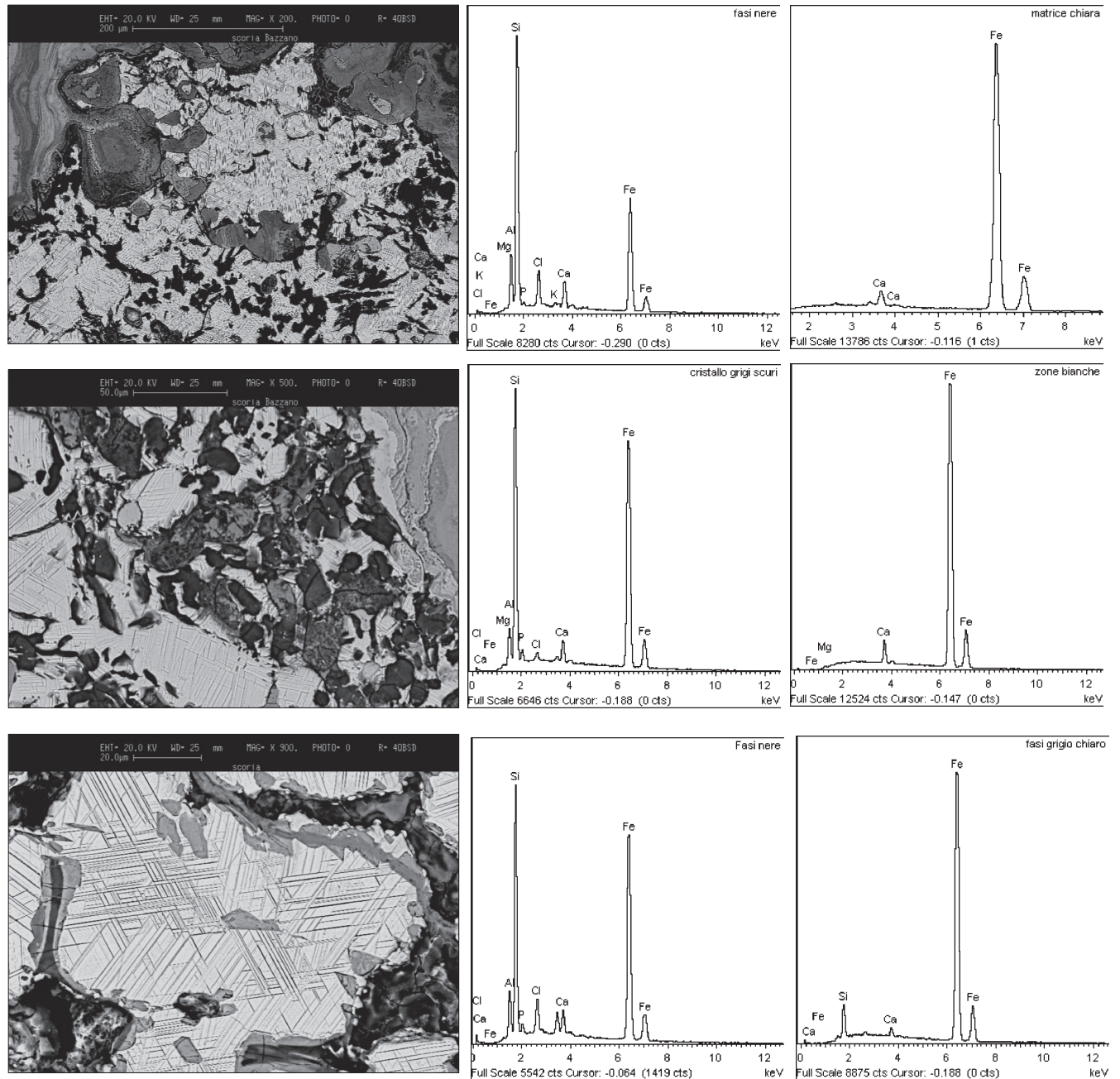


Fig. 16 Immagini elettroniche della sezione del manufatto definito come scoria.