GALLERIE e GRANDI OPERE SOTTERRANEE

Le gallerie militari italiane nella Prima Guerra Mondiale

S. Bellini[a], E.M. Pizzarotti[a]*, S. Pedemonte[b]

[a]*Pro Iter S.r.l., Via Sammartini 5, Milano, Italia*
[b] *Cultore di storia militare, Loc. Giretta 5, Isola del Cantone (GE), Italia*

Sommario

Durante la Prima Guerra Mondiale, particolarmente negli anni 1915-1917, lungo tutto il fronte italiano che si estendeva dalla Val d'Aosta al Golfo di Trieste, furono portate a compimento intense attività di scavo di gallerie per diversi scopi militari. Alcuni di queste opere sotterranee, molte delle quali ancora oggi ben conservate e visitabili grazie al costante sforzo di mantenimento e restauro delle Autorità locali, sorprendono in considerazione delle difficoltà ambientali e delle le sfide tecnologiche che hanno dovuto essere fronteggiate per la loro realizzazione. Sussiste una vasta letteratura che tratta questo argomento soprattutto sotto i punti di vista storico e biografico. Questo lavoro vuole invece focalizzarsi sugli aspetti tecnici e tecnologici, sulle risorse umane e materiali e sui metodi di progetto e di costruzione utilizzati per lo scavo di gallerie che, oggi, appaiono straordinarie in relazione al periodo storico e alle difficoltà incontrate nel corso degli scavi.

Abstract

During the World War I, particularly in the years 1915-1917, all along the Italian front spreading from Aosta Valley to the Gulf of Trieste, many intense tunnel excavation works were on going for diverse military purposes. Some of these underground works, many of which are nowadays well preserved and can be visited thanks to the constant effort in conservation and restoration by the local Authorities, are impressive if one thinks of the difficult environmental conditions in which they were built and the technical challenges of the operations. A remarkable literature exists on this subject from the historical and biographical point of view. This paper, instead, focuses on technical and technological aspects, on material resources, manpower, design and construction means and methods used to build tunnels that nowadays seem extraordinary in relation to the period in which they were completed and to the difficulties encountered during the execution.

*corresponding author

e-mail e contatti del corresponding author: enrico.pizzarotti@proiter.it

Parole chiave: guerra, militare, galleria, mina, esplosivo

Key word: war, military, tunnel, mine, explosive

1. Introduzione

Questo lavoro concerne il tragico rapporto tra l'arte della costruzione delle gallerie e la guerra, che è sinonimo di morte, sofferenza, privazione. Tale rapporto merita di essere ricordato, al di là del mero interesse tecnico dell'argomento, in onore di tutti i soldati che ebbero parte in questa tragedia.

Nella sua forma presente, questo lavoro costituisce uno sviluppo e un approfondimento di quello presentato al World Tunnel Congress 2020 di Napoli [29], la cui ispirazione è derivata dalla lettura di due interessanti articoli comparsi su *Tunnels&Tunnelling* [6] [27] e dalla visione del film australiano *Beneath Hill 60* di Jeremy Sims, riguardanti le gallerie militari scavate durante la WW1 sul fronte franco-germanico della Marna. Per questo la prima parte dello studio accenna alle

esperienze maturate in quei teatri di guerra, i cui contesti geologico-geomeccanici e le cui condizioni al contorno erano molto differenti da quelle del fronte italo-austriaco.

Lungo quest'ultimo teatro di guerra, infatti, le gallerie sono state realizzate in territorio montuoso, spesso a quote superiori a 2000 m s.l.m. e quindi in condizioni logistiche e ambientali decisamente più difficili (si pensi agli inverni allora estremamente nevosi e con temperature assai rigide), in ammassi rocciosi generalmente assai resistenti, che comportarono, quindi, l'uso continuo e massiccio dell'esplosivo. La loro costruzione copre un periodo che si estende da alcuni anni prima della dichiarazione di guerra (24 maggio 1915), per l'approntamento preventivo delle fortificazioni difensive, fino alla fine delle operazioni belliche (4 novembre 1918) e la loro collocazione geografica interessava tutto il fronte, dal Golfo di Trieste alla Lombardia orientale e più a ovest fino all'Alto Ticinese (Fig. 3). Si limiterà la trattazione alle sole opere realizzate dall'Esercito Italiano, anche se quelle austriache non possono certo essere considerate di minore importanza sia dal punto di vista tecnico che per l'impegno e il valore dimostrato nel realizzarle.

Ci si occuperà prima di tutto, in quanto di interesse più rilevante, delle opere sotterranee realizzate nel periodo 1915-1917 sulla porzione centro-orientale del fronte stesso, delimitata a ovest dalla Valle dell'Adige e a est da quella del Tagliamento (Regione Dolomitica). È in questo settore, infatti, salvo poche eccezioni, che gli eserciti contrapposti hanno maggiormente sfruttato il sotterraneo non solo per motivi logistici (depositi, camminamenti, ricoveri, ecc.) ma anche come vero e proprio strumento tattico offensivo. Le opere più articolate e impegnative sono rappresentate, infatti, dalle "gallerie di mina", utilizzate per raggiungere un punto al di sotto delle postazioni difensive nemiche e crearvi una breccia mediante il brillamento di enormi quantità di esplosivo.

Al contrario, le cavità realizzate più a ovest, al confine con la Svizzera, in previsione di un'invasione germanica attraverso questa nazione, non sono state utilizzate ma costituiscono comunque un peculiare esempio di previdenza strategica e, pur in minor numero di quelle sul fronte bellico vero e proprio, rappresentano un impegno tecnico e finanziario notevole per l'epoca.

2. Prime esperienze di "guerra sotterranea"

Attraverso il fondamentale studio di Enrico Fossa Mancini del 1925 [15] si possono ricostruire le origini delle opere sotterranee passive (rifugi, magazzini e infermerie) e attive (gallerie di mina). Per esempio, durante la guerra di secessione americana a Pittsburgh, l'esercito unionista, per espugnare le fortificazioni dei confederati, scavò un sistema di tunnel attraverso strati argillosi e sabbioso-argillosi, fin sotto al campo trincerato nemico. Questi tunnel vennero riempiti di polvere da sparo e nel mattino del 30 luglio del 1864 furono fatti saltare in aria, causando la formazione di un enorme cratere e pesanti perdite al nemico [28].

Il vero sviluppo della "guerra sotterranea" si ebbe tuttavia con l'inizio del primo conflitto mondiale sui teatri del nord Europa. Le opere sotterranee sia difensive (rifugi scavati perpendicolarmente alle trincee e diretti verso le retrovie, che venivano utilizzati come quartier generale, dormitori o magazzini) che offensive (gallerie di mina) [6] [11] [27] sul fronte occidentale furono realizzate prevalentemente in rocce tenere e terreni coesivi, nei quali era possibile adottare tecniche di scavo manuali (Fig. 1) e i maggiori ostacoli erano rappresentati dalla presenza di falde acquifere superficiali o di substrato roccioso resistente a bassa profondità.

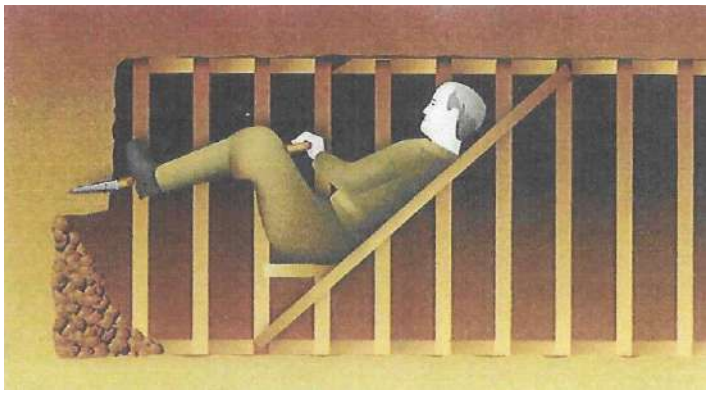


Fig. 1: Clay kicking, a tunnelling technique unique to the northwest of England found application in the trenches in rocce tenere e terreni coesivi sul fronte della Marna [27].

Un manuale di geologia militare tedesco citato in [15] suddivideva il terreno secondo sei gradi di lavorabilità: 1° - solo con la pala; 2° - con la zappa; 3° - con il piccone; 4° - con mazza, palanchino e cuneo di ferro; 5° - con i mezzi precedentemente indicati e l'ausilio di esplosivo; 6° - uso esclusivo di esplosivo.

Nel caso delle opere difensive, lo spessore naturale di terreno di ricoprimento doveva essere sufficiente per sopportare i bombardamenti dell'artiglieria [15]. Generalmente, si riteneva che per rendere inefficace l'artiglieria leggera occorresse uno strato di terreno compatto di circa un metro e mezzo, oppure uno strato di roccia di circa settanta centimetri. Per artiglierie più pesanti gli spessori erano molto più alti. Secondo i Tedeschi, per calibri medio-alti si sarebbero dovuti avere otto metri di terreno, mentre per ricoveri ancora più sicuri ne sarebbero stati necessari almeno dodici. Gli Inglesi, che dovevano sopportare calibri fino a 420 mm, avevano bisogno di quattordici metri di terreno, o sette metri di roccia. Casi favorevoli erano quelli dove strati resistenti si alternavano a strati teneri: si poteva quindi scavare il ricovero nella roccia tenera, avendo al tetto la roccia più tenace. I Tedeschi nelle Fiandre hanno così sfruttato banchi di calcare alternati ad argilliti eoceniche per costruire efficienti ripari.

M. Diederichs e D.J. Hutchinson [11], in un articolo pubblicato anch'esso nell'ambito del WTC 2019 (Fig. 2), hanno studiato la stabilità delle gallerie di Vimy Ridge, a nord di Arras (Francia):
«During WWI, the Allied and German troops faced each other from trenches located across a narrow strip of land known as No-Man's Land. A network of long subway tunnels, driven from a distance of several kilometres away constructed by hand and used to transport equipment, materials and troops to the front line in the relative safety afforded by covered, under-ground access. Shallow communication tunnels were constructed at shallow depths under very thin crown pillars. Troops found shelter in larger dugouts excavated adjacent to the network of trenches. The type of construction depended upon the depth below surface and the earth material into which the structure was excavated. The deepest of these dugouts were built to withstand direct shellfire and therefore needed an adequate cover of undisturbed rock overhead, usually between a minimum of two metres for light artillery fire and 16 metres to withstand heavy fire. The fresh intact chalk had strengths of UCS = 5 to 13 MPa and Young's modulus between 10 and 20 GPa.»

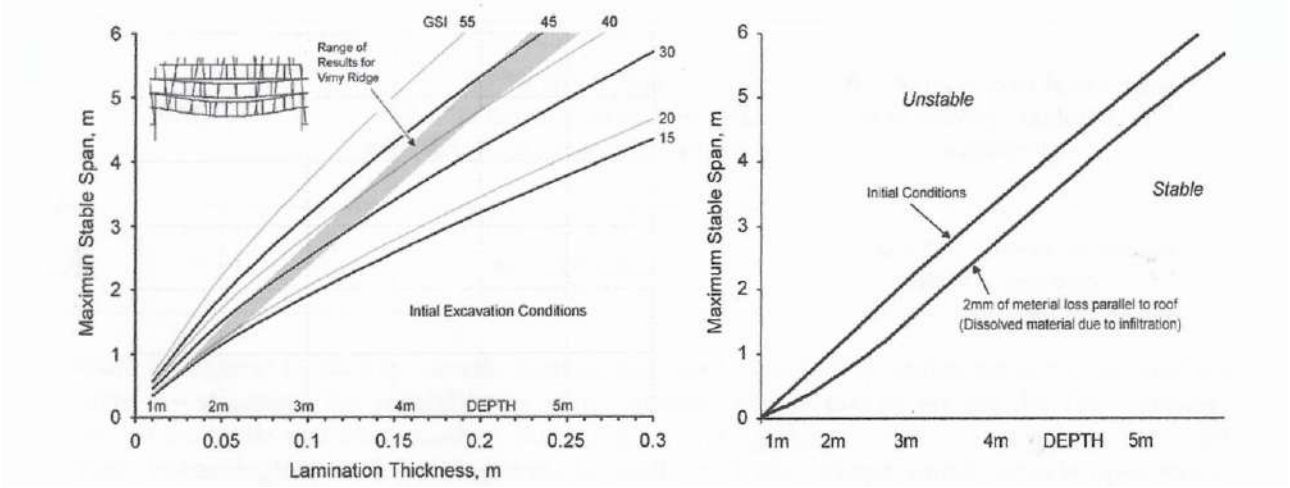


Fig. 2: Voussoir beam analysis of vertically jointed, horizontally lamined chalk roof (left), including (right) material loss in vertical jointing [11].

3. Il fronte italo – austriaco

3.1. *Inquadramento geografico e geologico (si veda [1] – [5] e [8]])*

Dalla Fig. 3 si può osservare che all'inizio delle ostilità il fronte Italo-Austriaco attivo copriva un'estensione di oltre 800 km che andava dal confine con la Svizzera nell'Alta Valtellina al Golfo di Trieste, in grandissima parte montano con tratti decisamente alpini. In alcuni casi le postazioni si attestavano a quote di oltre 3000 m s.l.m. (massicci dell'Adamello e della Marmolada).

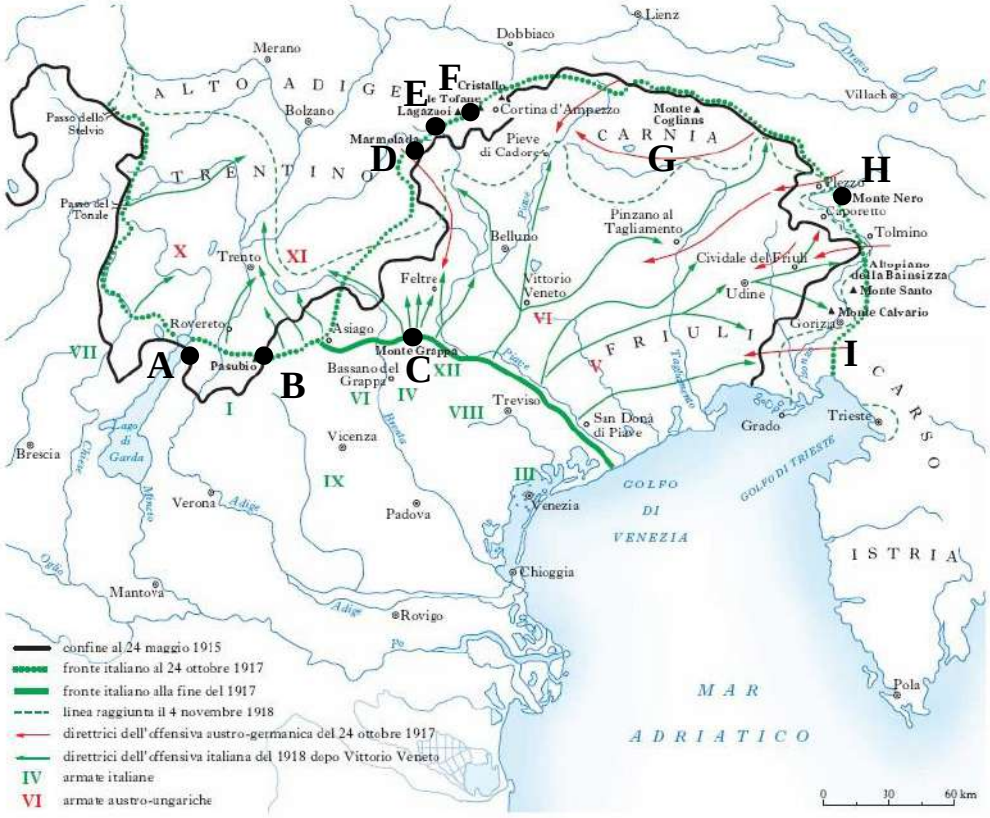


Fig. 3: Fronte Italo-Austriaco 1915-1918. A: Monte Zugna. B: Pasubio. C: Monte Grappa. D: Marmolada. E: Cima Col di Lana. F: Lagazuoi and Castelletto di Rozes. G: Carnia. H: Catena Monte Rosso - Monte Nero. I: Carso. Elaborazione degli autori su immagine da[13].

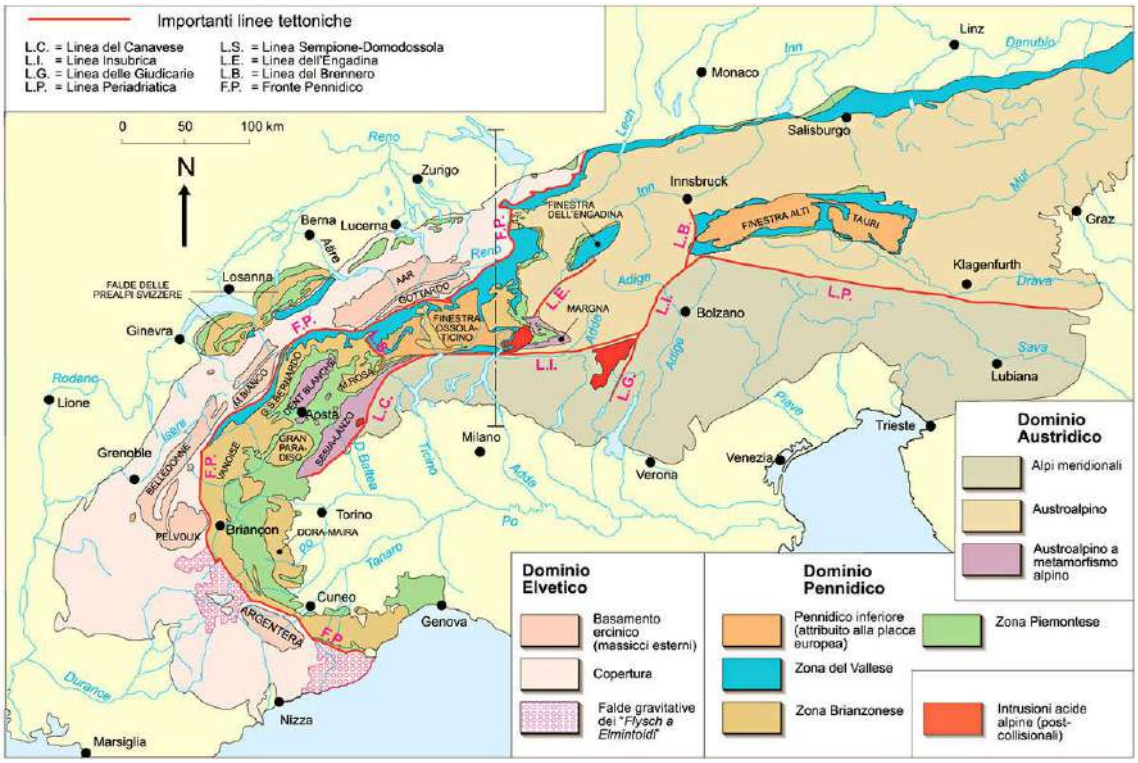


Fig. 4: Schema tettonico delle Alpi [14].

Come si vede da Fig. 4, la zona compresa nelle Alpi Meridionali a sud della Linea Periadriatica è un'Unità Tettonica con caratteristiche nettamente diverse da quelle delle altre unità strutturali alpine. Le rocce scistoso-cristalline, prevalentemente filladi, sono diffuse solo nello zoccolo, mentre dominanti sono potenti coltri sedimentarie, perlopiù di età mesozoica. Le falde di ricoprimento sono di modesta entità, mentre nella parte occidentale sono frequenti gli scollamenti e i sovrascorrimenti. L'andamento strutturale è dato da una successione di pieghe, di pieghe-faglie e di scaglie embricate, perlopiù vergenti verso sud, carattere precipuo dell'Unità. Sono presenti imponenti masse magmatiche tanto intrusive, come l'ammasso tonalitico dell'Adamello, quanto effusive come le potenti colate di porfidi quarziferi permiani della Piattaforma Atesina [10].

Si forniscono nel seguito alcuni cenni relativi alle rocce attraversate dalle principali opere sotterranee realizzate durante il conflitto, contrassegnate con le lettere in Fig. 3, alcune delle quali verranno trattate nel seguito in modo sintetico, procedendo da ovest verso est.

A. Monte Zugna - Le opere sotterranee attraversano stratificazioni metriche la cui ossatura è composta da rocce dolomitiche e calcaree riferibili alla Dolomia Principale e al gruppo dei Calcari Grigi, che spesso sono interessati da importanti fenomeni carsici.

B. Pasubio - Il Pasubio è un massiccio carbonatico, dolomitico e in parte calcareo nelle parti sommitali: le gallerie dunque attraversano sia calcari che dolomie, in quanto gli scavi furono numerosi e distribuiti, oltre che molto articolati. La formazione che caratterizza l'area è quella della Dolomia Principale: sedimenti dolomitici di piattaforma molto potenti, che possono raggiungere oltre ottocento metri di spessore. Si tratta di dolomie cristalline in grossi banchi, cui si alternano dolomie micritiche (a grana finissima) e dolomie stromatolitiche.

C. Monte Grappa - Rocce sedimentarie, carbonatiche organogene formatesi per accumulo di alghe e organismi di mare poco profondo (calcari): si presentano perciò compatte e a grana fine. Le unità attraversate sono quelle dei Calcari Grigi, già descritti sopra. Alcuni affioramenti confermano una

tessitura non massiva ma molto granulare sui versanti dove sono presenti alcuni imbocchi delle gallerie, con roccia poco compatta e tendente a sfaldarsi.

D. Marmolada - Siamo in presenza di calcari massicci grigi, detritici e a stromatoliti. Si tratta della Formazione del Calcare della Marmolada, ossia calcari grigi derivanti da scogliere coralline, al cui letto compare a tratti la Formazione di Livinallongo composta da calcari nodulari e tufiti, già rinvenibili nella zona del Col di Lana, descritta nel seguito.

E. Cima Col di Lana - Nella zona interessata dalle gallerie si rinviene la Formazione di Wengen e più saltuariamente l'Unità degli Accumuli di frana sottomarina di vulcanoclastiti. La Formazione di Wengen comprende depositi misti carbonatico-vulcanici (tufiti) a tessitura massiva. Subito a letto di queste due formazioni si attesta quella di Livinallongo spesso in eteropia alle Dolomie dello Sciliar.

F. Lagazuoi e Castelletto di Rozes - Le gallerie sono situate nella Dolomia Principale color grigio chiaro, ben stratificata, con alla base le siltiti, argilliti e marne varicolori della Formazione di Raibl e ulteriormente sottostanti le Dolomie Cassiane, cristalline e massicce.

G. Carnia - La Catena Carnica o Paleocarnica, è costituita principalmente da terreni paleozoici formati da meta-grovacche, meta-conglomerati e meta-peliti. Queste formazioni sono accavallate verso sud da marmi, calcesciti e meta-calcari. Nel Carbonifero si depositano argilliti, arenarie e siltiti bruno-nerastre che costituiscono il cosiddetto Permo-Carbonifero Pontebbano formato da sedimenti deltizi e marini di piattaforma, posti in discordanza sul substrato ercinico, spessi oltre 2000 m e la successione paleozoica post-ercinica rappresentata da depositi continentali con la deposizione delle arenarie rosse (Arenaria di Val Gardena).

H. Catena Monte Rosso - Monte Nero (Krn – attualmente in territorio sloveno) - Calcari massicci, a stratificazione regolare e massiva, talvolta in banchi. Tra le formazioni attraversate si annovera la Scaglia Rossa (roccia sedimentaria marina, ricca in fossili a litologia calcareo-selcifera) e il Calcare di Dachstein, quest'ultimo affiorante sul Monte Nero e pressoché simile in composizione ai Calcari Grigi del Monte Grappa.

I. Carso - Si trovano qui calcari bioclastici biancastri, massicci oppure brecce con clasti dolomitici e anche calcari stratificati biancastri con argille residuali. I principali affioramenti riguardano la Formazione Liburnica, i Calcari di Aurisina, la Formazione di Monrupino e i Calcari di Monte Coste. È presente una speleogenesi diffusa e imponente.

3.2. *Le forze in campo*

Le peculiarità di questa guerra rispetto a tutte i precedenti conflitti sono rappresentate dall'applicazione delle più recenti innovazioni tecnologiche ma, soprattutto, dalla presenza di enormi masse di uomini e mezzi a ridosso del fronte, in situazioni di scarso movimento, esposte al tiro di cannoni e mitragliatrici. Le opere di difesa realizzate prima del 1915 erano puntuali e disperse in pochi tratti, finendo per non essere utili all'economia del conflitto: molte erano dislocate al confine con la Svizzera e la Francia, in previsione di diversi scenari strategici.

L'Esercito italiano affrontò le prime operazioni belliche avendo mobilitato 31.000 ufficiali, poco più di 1.000.000 di uomini di truppa e 11.000 civili. Al termine del conflitto questi numeri raggiunsero valori circa tre volte superiori [20]. In particolare, l'Arma del Genio salì da circa 12.000 unità nel 1915 a 110.000 (pari a un nono della Fanteria) nel 1917, arrivando alla fine della guerra a ben 170.000 mobilitati (pari a un quinto della Fanteria) [23]. Nessun altro corpo subì un incremento simile, segno evidente dell'importanza delle opere di ingegneria e, in primis, di quelle sotterranee (Fig. 5). Per

esempio, il 5° Reggimento Genio Minatori (Fig. 6), prima delle ostilità, era costituito da 13 compagnie, mentre nel 1918 terminò con 53 [23], per cui si possono ragionevolmente ipotizzare circa 11.000 uomini, a cui vanno aggiunte le Centurie (civili dipendenti direttamente dall'Esercito) e le ditte private che lavoravano nelle retrovie. Un conto approssimativo di lavoratori, coinvolti dall'Arma del Genio ma non facenti parte dei suoi reggimenti, fu di 110.000 uomini nel 1917 per le Centurie e 650.000 operai borghesi in tutta la guerra [23]. Durante le operazioni furono create la sotto-specialità Motoristi del 5° Reggimento Genio e un centro di collaudo a Milano in contatto con lo stabilimento nazionale fornitore di gruppi perforatori. Fu costituita in ogni Armata un'officina di riparazione con il compito di addestrare il personale [23] . Come è evidente, ciò che all'inizio della guerra costituiva un impiego puntuale e non sistematico, alla fine delle ostilità si era trasformato in un vero e proprio settore industriale.

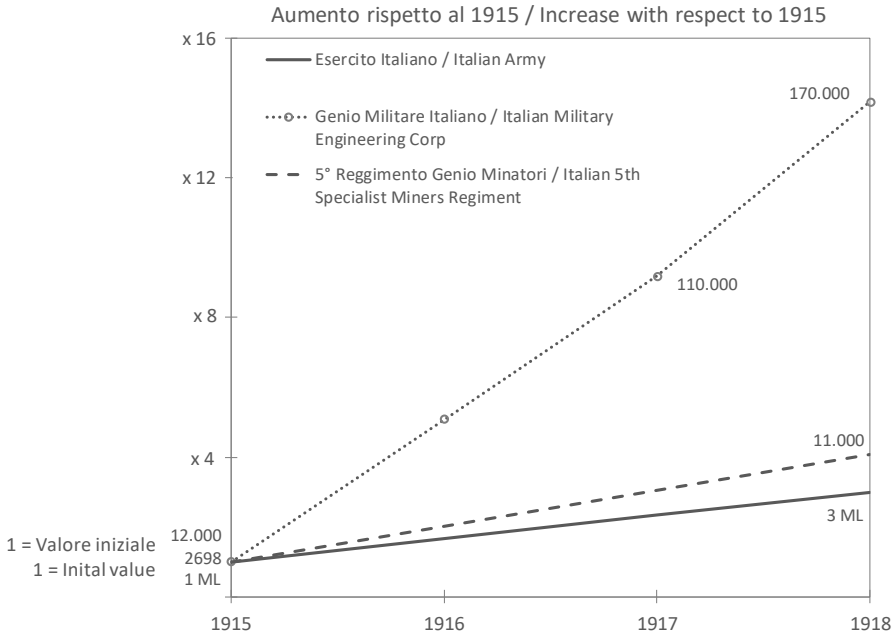


Fig. 5: Aumento delle forze italiane durante la guerra [20] [26].

(a) (b)

Fig. 6: (a) Cartolina d'epoca del Genio Minatori (proprietà degli autori). (b) Fregio del 5° Reggimento Minatori [32].

3.3. *Le opere*

È pressoché impossibile, allo stato attuale, quantificare in modo analitico l'azione dell'Esercito Italiano nel campo delle opere in sotterraneo durante il primo conflitto mondiale. Si cercherà comunque di dare, attraverso gli esempi più eclatanti, un quadro dello sforzo compiuto.

È sul Carso che l'Esercito Italiano nel luglio 1915 affrontò il nuovo tipo di guerra e fu considerata dai Comandi l'opportunità di ricorrere a lavori sotterranei. Ma tutto rimase a livello di ipotesi a causa della carenza di manodopera specializzata e di mezzi tecnici fino al gennaio 1916, quando il Generale Raffaele Cadorna, visto anche l'esempio dei cobelligeranti e degli stessi nemici, promosse un ampio sviluppo dei lavori di mina a scopo offensivo sulle alture di Santa Lucia, del Podgora e del San Michele. È da notare che solo allora il Comando Supremo dispose la requisizione dei materiali idonei allo scopo presso le ditte operanti nel settore minerario ed estrattivo e dette mandato all'Ufficio Tecnico dell'Esercito di procedere a un censimento delle attrezzature esistenti a livello nazionale.

Un primo progetto riguardò Cima 4 del San Michele (Fig. 7a) dove due gallerie di mina della lunghezza di 80 m ebbero fornelli caricati ognuno con 125 kg di esplosivo. Numerose altre proposte furono avanzate ma i lavori procedevano a rilento anche per la carenza di uomini specializzati: si pensi che la 1ª Compagnia del 5° Reggimento Genio Minatori non aveva ancora il parco mezzi necessario e soltanto 10 soldati erano minatori di professione [12].

Questi dati forniscono l'idea dello sforzo organizzativo nel seguito effettuato dall'Esercito Italiano: da episodi isolati e locali, la tattica della guerra sotterranea divenne generalizzata e organizzata, con una parte dell'industria italiana che produceva appositamente nuovi esplosivi, perforatori, generatori di corrente, pompe, micce e quant'altro occorreva. L'esperienza venne man mano diffusa attraverso circolari, manuali e libri coinvolgendo anche le scuole minerarie italiane.

Sul Monte Zugna, un massiccio comprendente Coni Zugna (1772 m) e la Cima di Levante (2020 m), la guerra di mine e contromine si protrasse fino al settembre 1918 tramite pozzi e gallerie. Riportiamo alcuni dati sugli scavi al 31 dicembre 1917: una galleria a forte pendenza di 20 m di lunghezza per le auscultazioni dei lavori austriaci; un pozzo di 8 m di profondità da cui si diparte una galleria di 14 m; un'altra galleria di 24 m di lunghezza con una pendenza del 25%. Durante i lavori furono incontrate numerose cavità naturali [7].

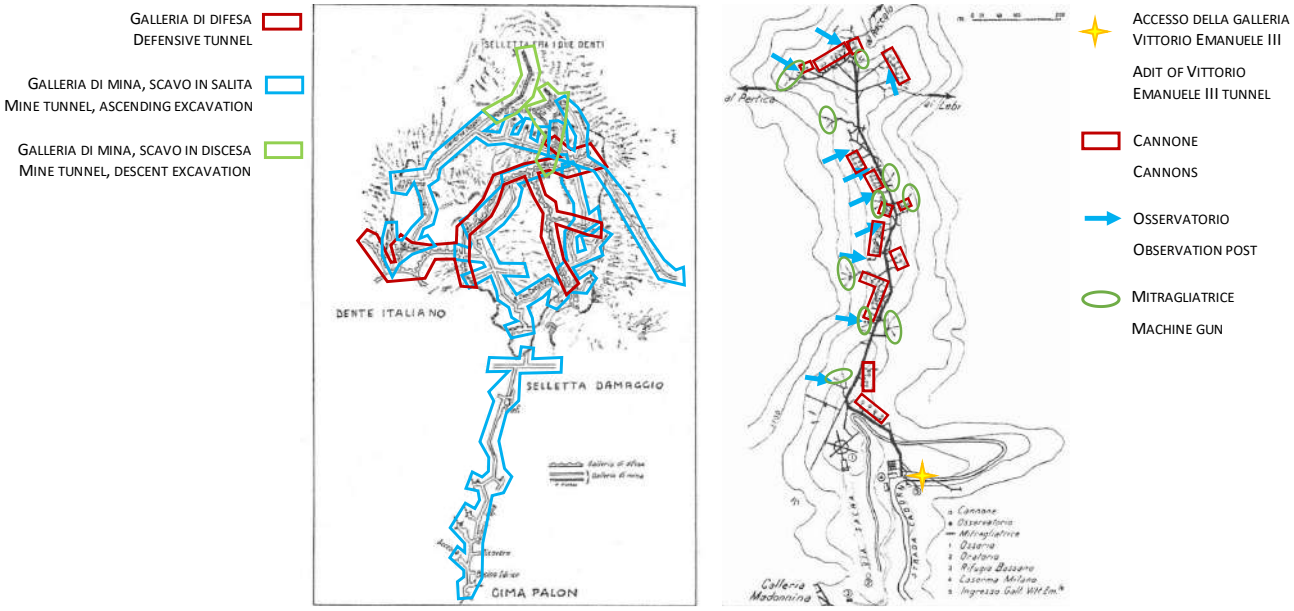
Sul Pasubio (2239 m s.l.m.) (Fig. 7b e Fig. 8a), per esempio, furono costruiti circa 10 km di gallerie e 500 km di strade; vennero fatte brillare in media 1500 cariche di esplosivo al giorno e furono posati 100 km di tubi per aria compressa e 60 km tubature d'acqua [23]. Tra le altre venne realizzata una galleria elicoidale di 110 m di lunghezza con una sezione di 2,2x2,5 m e un'altra di 190 m con sezione 2x3 m e ancora una di 140 con sezione 2,5x2,5 m (Fig. 9). Si facevano scavi con una produzione media di 6 m^3 al giorno; venivano utilizzati 5 perforatori a martello mentre per l'energia elettrica era utilizzato un gruppo Ballot, nonché un gruppo elettrogeno portatile per la ventilazione [12]. Ma questo massiccio alpino è famoso soprattutto per la Strada delle 52 Gallerie che inizia a Bocchetta Campiglia (1216 m s.l.m.) e termina alle Porte del Pasubio (1928 m s.l.m.) con un totale di oltre 2300 m di gallerie su un percorso di 6300 m [16]. Sul Monte Cengio, ai margini dell'Altopiano dei Sette Comuni (Asiago) vi sono opere altrettanto ardite (Fig. 20).

Sul Monte Grappa si trova il sistema di gallerie (Fig. 8b) denominato "Vittorio Emanuele III", costruito in soli 10 mesi, con un ramo principale di 1400 m e uno sviluppo complessivo di oltre 5100 m: ospitava 23 batterie di cui sei di cannoni da 105 mm, più mitragliatrici, depositi viveri e munizioni e serbatoi d'acqua [34]. Poteva alloggiare 1500 soldati e i depositi garantivano 15 giorni di autonomia, con serbatoi d'acqua da 50 m^3 a 200 m^3 [25]. Si noti (Fig. 3) che il Monte Grappa si trova assai più a

sud della linea del fronte all'inizio della guerra. Il sistema difensivo sopra descritto fu costruito ben prima dell'avanzata dell'Esercito Austriaco nell'ottobre del 1917 e costituì, insieme al Piave, un baluardo strategico rivelatosi insuperabile che consentì di fermare l'avanzata stessa.

(a) (b)

Fig. 7: (a) Galleria "Generale Papa" al Pasubio. (b). Le gallerie di San Michele del Carso (foto degli autori).

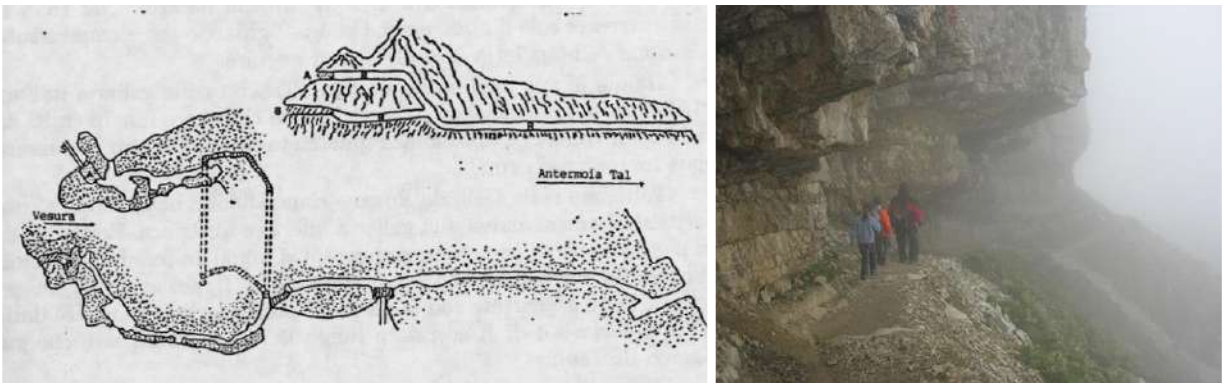


(a) (b)

Fig. 8: (a) Rete di gallerie italiane sul Pasubio. Elaborazione degli autori su immagine da [31]. (b) Il complesso di gallerie del Monte Grappa. Elaborazione degli autori su immagine da [34].

(a) (b)

Fig. 9: Strada delle 52 Gallerie sul Pasubio. (a) Ventesima galleria. (b) Schema della ventesima galleria [18].



(a) (b)

Fig. 10: (a) Uno schizzo della Galleria “Rosso” sulla Marmolada il cui ingresso è stato liberato dal ghiaccio pochi anni fa [12]. (b) La Cengia Martini ancora oggi testimonia le capacità professionali dell’Esercito Italiano nell’apprestare opere di difesa: anche qui la tenacità dell’ammasso roccioso ha preservato questa strada oggi utilizzata da chi visita le gallerie di guerra (foto degli autori).

La Marmolada è famosa per le gallerie scavate nel ghiacciaio, anche a oltre 3000 m s.l.m. ma i genieri dei due eserciti si cimentarono anche nella realizzazione di centinaia di metri di tunnel in roccia calcarea: ancora oggi è visitabile la Galleria “Rosso” di circa 230 m - Fig. 10a).

Il Piccolo Lagazuoi (Fig. 10b, Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14) è stato un teatro non solo di guerra alpina ma anche di ardite imprese ingegneristiche. Si pensi che per caricare la mina di 33 tonnellate di esplosivo, i nostri soldati scavarono una galleria elicoidale di circa 1100 m con un dislivello di 250 m e una pendenza, in alcuni punti, del 60% che richiese l’intaglio di gradini (si arrivò ai 2660 m s.l.m.). La galleria era alta 1,90 e larga altrettanto e si avanzò al ritmo di ben 5,5 m/g [12]. Qui non fu usata la dinamite per la carica della mina ma gelatina ed Echo (si veda par. 3.4).

(a) (b)

Fig. 11: (a) Ingresso inferiore della galleria Lagazuoi (foto degli autori). (b) Galleria Lagazuoi (foto di Giacomo Pompanin).

(a) (b)

Fig. 12: (a) Massiccio del Lagazuoi (foto degli autori). (b) Il Lagazuoi da una pubblicazione d'epoca [17].

Fig. 13: Galleria del Lagazuoi (foto di Giacomo Pompanin).

Fig. 14: Galleria del Lagazuoi (foto degli autori).

Al Castelletto (2657 m s.l.m.) della Tofana di Rozes (Fig. 15, Fig. 16a) vennero scavati 500 metri di galleria in rimonta assai ripida per un totale di 2.200 m^3 di roccia, con una grande camera di mina terminale in cui esplosero 35.000 kg di gelatina il 11 luglio 1916 [30]. L'esplosione devastò le linee nemiche soprastanti ma produsse una tale quantità di fumi tossici che comportò lo svanimento di molti tra gli attaccanti ammassati al di sotto della camera di mina, evidentemente non a sufficiente distanza e con una ventilazione decisamente scarsa. L'attacco fu ripreso dopo qualche tempo e il Castelletto stesso fu comunque conquistato, dal momento che la parte rimanente della guarnigione austriaca non si era ancora riorganizzata e ripresa dallo stordimento dovuto al boato dell'esplosione.

L’attacco degli scavi della galleria del Castelletto (Fig. 16b, Fig. 17) venne ubicato in una posizione riparata rispetto al tiro delle linee nemiche posizionate sulla sommità del Castelletto, all’interno di un anfratto naturale e richiese il superamento di non trascurabili difficoltà logistiche.

(a) (b)

Fig. 15: (a) Galleria del Castelletto. (b) Accesso alla galleria del Castelletto (foto degli autori).

(a) (b)

Fig. 16: Galleria di mina del Castelletto, Tofana di Rozes: (a) Vista da un tunnel situato più in basso. (b) Ingresso della galleria. (foto degli autori). A = Ingresso della galleria (Fig. 15b), B = Scala di accesso alla galleria, C = Galleria del Castelletto (Fig. 15a), D = Cannoniere austriache, E = Tofana di Rozes, F = Castelletto, G = Cresta distrutta dalla mina italiana.

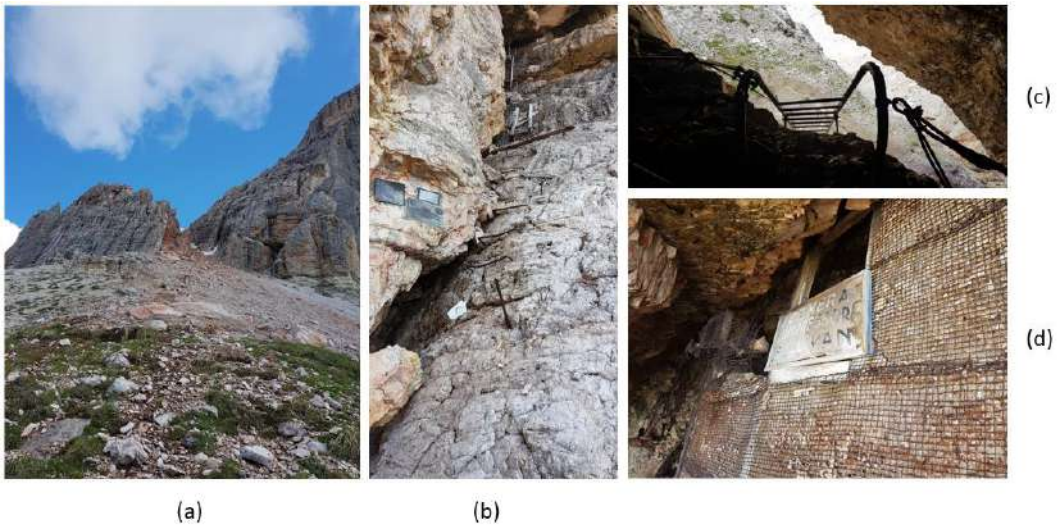


Fig. 17: Galleria di mina del Castelletto, Tofana di Rozes: (a) Ingresso della galleria. (b) Scala inferiore in legno, originale. (c) Scala superiore. (d) Camera compressore Sullivan (foto degli autori).

Come detto in precedenza, tra le opere più articolate e impegnative possono essere annoverate le gallerie di mina, utilizzate per raggiungere un punto al di sotto delle postazioni difensive nemiche e crearvi una breccia. La Table 1 riporta sinteticamente i dati principali delle mine e contromine italiane più importanti. Non bisogna dimenticare che l'avversario fu altrettanto impegnato nello scavare gallerie e caverne: ricordiamo solo le sue mine al Monte Cimone (14.200 kg), quella al Lagazuoi (24.000 kg di esplosivo) e quella al Monte Sief di ben 45.000 kg di esplosivo (Fig. 18) superata solo al Pasubio da una di 50.000 kg.

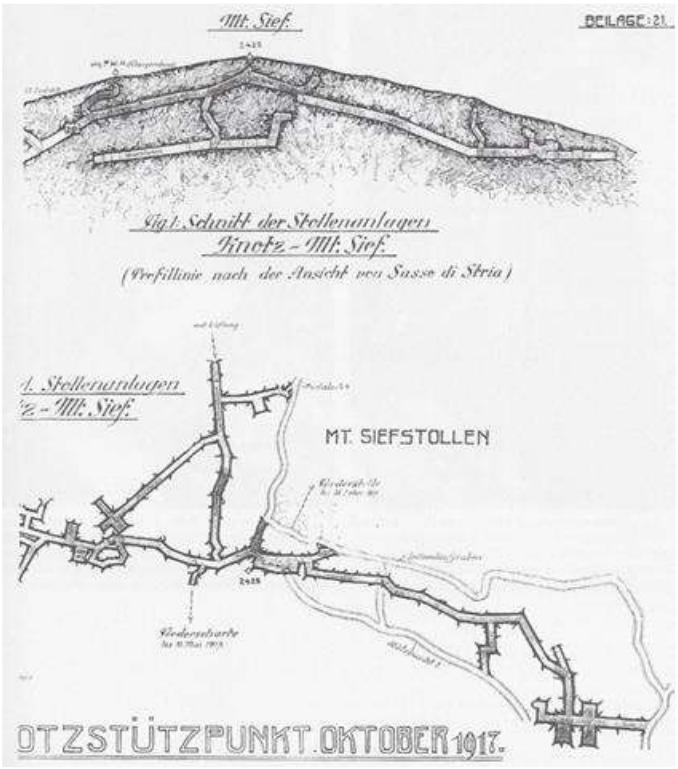


Fig. 18: Una galleria austriaca sotto la cima del Sief [33].

Table 1: Alcune mine e contromine italiane.

Date	Type	Location	Amount of Explosive [kg]
17/4/1916	Mine	Col di Lana	5.000
12 in 2016	Counter-mine	Carso	
11/7/1916	Mine	Castelletto	35.000
31/7/1916	Counter-mine	M. Mrzli	
1917	2 Counter-mines	M. Sief	3.600 and 5.000
1917	3 Mines	Colbricon	
8/6/1917	Mine	M. Zebio	1.000
10/6/1917	Mine	M. Rotondo	
23/6/1917	Mine	Lagazuoi	33.000
1917	2 Mines	M. Mrzli	
16/8/1917	2 Mines	M. Rosso	
1917	2 Mines	Pasubio	13.000 and 1000
1917	2 Mines	Marmolada	500 and 1.000
1918	3 Counter-mines	Pasubio	1.200 in one
1918	2 Counter-mines	M. Zugna	825 and 2100

Come si è visto gli ammassi rocciosi interessanti le opere in oggetto sono per la maggior parte ascrivibili a contesti calcarei o calcareo-dolomitici, con discrete, e spesso buone, proprietà geomeccaniche. Non mancano gneiss compatti nella galleria di mina di San Fedele di Verceia allo sbocco della Valchiavenna o i porfidi della caverna di Monte Piambello (Varese) [35].

Gli ambienti sotterranei visitati dagli autori (gallerie, cunicoli, rifugi, gallerie stradali, caverne per ricoveri o per artiglieria) al Pasubio, Lagazuoi, Castelletto, Monte Mrzli, Monte San Michele, Carso, non sono mai rivestiti e a distanza di oltre 100 anni restano ancora pressoché intatti. Hanno subito rilasci solo lungo piccoli tratti in zone particolarmente fratturate, soprattutto agli imbocchi.

I resoconti della costruzione di queste gallerie, sia per rifugi e magazzini o per le mine, si limitano alla descrizione dei pericoli causati dall'avversario con i cunicoli di contromina. Quasi mai si accenna alle caratteristiche della roccia o alla necessità di interventi di stabilizzazione: un ostacolo era semmai la resistenza meccanica all'abbattimento che rallentava i lavori.

Un ulteriore complesso di gallerie italiane e austriache si può ammirare nelle Alpi Giulie, a partire da Pontebba, Val Dogna, Rombòn, Monte Canin fino ad arrivare al Monte Rosso, vicino al Monte Nero. Per quest'ultimo, la memorialistica parla di roccia incoerente e molto fessurata che richiedeva un grande lavoro di armatura; poco distante, a est di Caporetto, anche lo scavo sul Monte Mrzli incontrò un ammasso friabile, così come per il Monte Zugna, le relazioni descrivono scavi in rocce fessurate [12].

Un caso particolare è la galleria nel greto del torrente Popena (Fig. 19), nel gruppo del Cristallo: reparti del 54° Reggimento Fanteria scavarono nel 1916 un tunnel di circa 350 m, in parte in subalveo e in materiale sciolto [12] con una copertura di una decina metri: la velocità di avanzamento, nonostante le venute d'acqua e il terreno incoerente, era di due metri nelle ventiquattro ore. Il rivestimento consisteva in tavole di 6 cm di spessore e la sezione di scavo raggiungeva i 2,2x2,0 m. Ma il 19 giugno vi fu un crollo all'imbocco che ostruì la galleria e il 9 luglio l'artiglieria avversaria riuscì a demolire in più punti l'opera che venne quindi abbandonata.

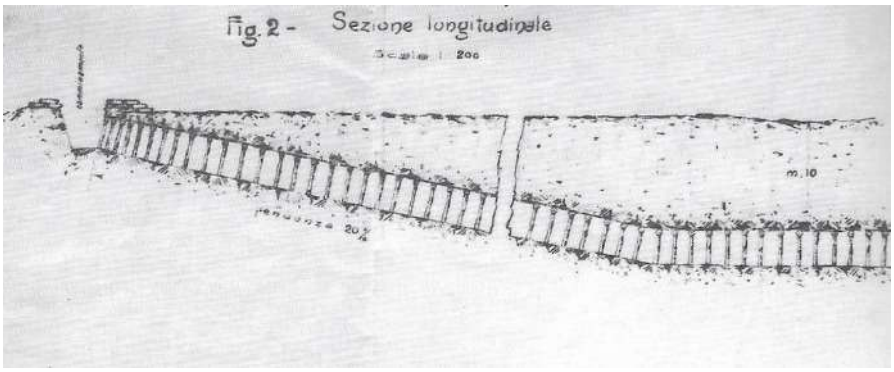


Fig. 19: La galleria di subalveo in Val Popena [12].

3.4. Aspetti tecnologici

3.4.1. Tipi di esplosivo

Durante la guerra furono molteplici i tipi di esplosivo utilizzati a seconda della necessità [12]:
- polvere nera (75% nitrato di potassio, 13,50% carbone di legna e 11,50% di zolfo circa);
- dinamite (nitroglicerina);
- gelatina esplosiva (92% di nitroglicerina e 8% di cotone collodio);
- Echo (60% nitrato di ammonio, 25% polvere di alluminio, con percentuali di nitrocellulosa e carbone);
- cheddite (miscela a base di clorati);
- Sabulite, nitranite o siperite (miscugli a base di nitrato d'ammonio in percentuale superiore al 70% e polvere nera.

L'innesco poteva essere a capsule di fulminato di mercurio da 1,2 grammi oppure fulmicotone (nitrocellulosa ad alto contenuto d'azoto) – Table 2.

Table 2: Quantità di esplosivo e tempo occorrenti per lo scavo di 1 m^3 di roccia con *petardi* profondi da 0,5 a 0,8 metri [21].

Rock type	**Gunpowder [kg/m^3]**	**Explosive gelatin [kg/m^3]**	**Excavation time [hours]**
Quartzite	1,0	0,25	20
Granite	1,0	0,25	16
Silica (sic)	0,8	0,19	12
Marble	0,7	0,18	7
Hard Limestone	0,6	0,18	6
Sandstone	0,6	0,17	5
Soft Limestone	0,3	0,10	5
Puddingstone	0,2	0,08	4
Tuff	0,2	0,08	4

La produzione mensile italiana di gelatina era di 80 tonnellate al mese nel 1916 [12]: si può dedurre quale furono gli sforzi organizzativi per rifornire le gallerie di mina (si veda Table 1).

Per quanto riguarda specificamente le mine, il Manuale [21] si concentrava sull'effetto della dinamite negli scavi in sotterraneo. Esso riportava la formula (1):

$$C = a \cdot m \cdot h^3 \quad (1)$$

dove *C* = carica necessaria a creare un imbuto in superficie; *a* = tipo di esplosivo; *m* = natura della roccia; *h* = profondità della mina. Tra l'altro questo Manuale fornisce una prima, qualitativa classificazione degli ammassi rocciosi, riportando i dati necessari allo scavo di gallerie. Alcuni valori di *m* sono riportati in Table 3.

In Fig. 20 è riassunto il consumo totale di esplosivo.

Table 3: Alcuni valori del parametro *m* per il calcolo della carica necessaria in funzione della litologia; dal Manuale [21].

Rock/Soil type	***m* parameter**
Soft soil	1,20
Dense sand	1,75
Soil with stones	2,00
Clay with tuff	2,25
Bad masonry	1,88
Poor masonry	2,42
Excellent masonry	3,27
Ancient masonry	3,63
Roman masonry	4,24
Good concrete	4,24
Poor rock	2,50
Massive rock	3,27
Hard rock	4,24
Fractured rock	5 to 6

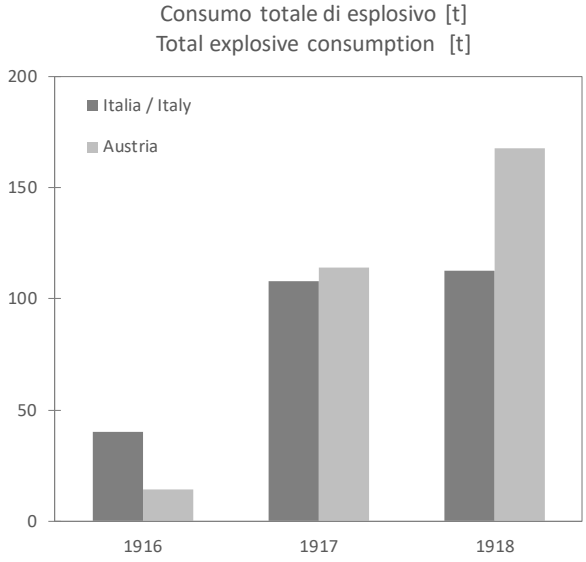


Fig. 20: Stima del consumo totale di esplosivo.

3.4.2. Perforatori

Sempre dal Manuale [21] si ricava che prima dell'avvento dei perforatori, per aprire un foro da mina occorrevano due operai: uno impugnava un'asta cilindrica di acciaio e appoggiava l'estremità sagomata appositamente per il taglio, mentre l'altro colpiva con una mazza la testa. A ogni colpo

occorreva ruotare l'asta di una frazione di giro e frequentemente pulire il foro prodotto; con un diametro dell'asta di 3 cm si poteva ottenere un foro di 4 cm. Inoltre
(in questi fori) *lunghi sino a un metro, la cartuccia occupa da ¼ a ½ del foro, a seconda della qualità della roccia. Ogni squadra è formata da 2 o 3 uomini con 3 o 4 pistoletti, 1 mazzetta, 1 nettamine, 1 asciugatoio, stracci e acqua; ogni 5 o 10 squadre occorre una fucina, l'incudine e un martello … Una squadra in un'ora fa in roccia granitica da 0,12 a 0,2 metri di foro; in roccia compatta da 0,2 a 0,25; in roccia calcarea da 0,75 a 1 metro»*.

Successivamente, al comando del IV Corpo d'Armata, settore Monte Mrzli – Monte Rosso, si era provato un tubo d'acciaio da 3 cm munito di una testa a punta di diamante spinto e ruotato meccanicamente contro la roccia; i detriti venivano rimossi con acqua pompata attraverso l'anima del tubo e serviva anche a raffreddare l'utensile. Si arrivava anche a lunghezza di 50 m, ricavando una piccola camera di mina per fare esplodere delle cartucce di gelatina. Le difficoltà di asportazione del detrito e di spinta delle cartucce all'interno del foro consigliarono, poi, l'impiego di un tubo da 5 cm e di un congegno che alesava il diametro della camera di mina fino a 25 cm. La velocità di avanzamento diminuì però da 40 cm all'ora a 150 cm al giorno. Non si usavano motori ma solo due uomini alla trivella e due alle pompe e la quantità d'acqua necessaria era di 400 l/h. Si arrivò a piazzare una carica di 50 kg a 30 m di distanza. Tale esperienza però non fu poi usata e rimase a livello di prova [12].

In quanto ai perforatori, come già detto, la guerra finanziò la ricerca di nuove tecnologie. Si arrivò a produrre attrezzature meno ingombranti, più leggere e di funzionamento più sicuro in confronto a quelle pervenute dall'estero o prodotte antecedentemente in Italia. Un tipo di moto-compressore diede ottimi risultati e fu adottato anche dagli eserciti francese e inglese [23].

Si fornisce un sunto di alcuni perforatori utilizzati ricavato dal lavoro più volte citato di Basilio De Martino [12]:

- Aquila-Sullivan da 45 Hp impiegato al Castelletto e successivamente al Lagazuoi;
- Sullivan da 30-40 Hp al Castelletto (si veda Fig. 17d);
- Sullivan da 75 Hp al Lagazuoi;
- Alfa-Ingersoll da 15 Hp per lavori accessori al Lagazuoi;
- Diatto da 15 Hp al Lagazuoi;
- Romeo, Sullivan e Consolidated Pneumatics Tools, gruppi someggiabili Marelli-Brusa.

Il Manuale [21] descrive un martello perforatore:
«È formato da:

1. *Un motore a benzina da 7 Hp monocilindrico a quattro tempi con accensione a magnete ad alta tensione, raffreddamento a acqua e regolatore a forza centrifuga;*
2. *Un compressore d'aria, asciutto, con raffreddamento ad acqua mediante pompa a forza centrifuga che aspira 820 litri d'aria al minuto e li comprime a 7 atmosfere;*
3. *Un carrello con avantreno girevole per il trasporto del motore e del compressore;*
4. *Un serbatoio per aria compressa (in tre cilindri) con manometro e valvola di sicurezza, 4 rubinetti di spurgo e collegamento con i tubi dei martelli;*
5. *Due martelli perforatori (tipo Valveless a mano) e ciascuno di questi comprende: l'impugnatura, il cilindro e lo stantuffo autodistributore che batte 800 colpi al minuto; si ha anche un martelletto ad avanzamento automatico del pistoletto;*
6. *Pistoletti o fioretti, a testa esagonale che entrano nel cilindro del martelletto; ve ne sono di vuoti e di pieni; questi ultimi fatti per fori dal basso all'alto.*

Nelle rocce di media durezza si fa un foro lungo un metro in un'ora. Servono un motorista e due minatori che si alternano nel maneggio di un martello»

3.4.3. Avanzamento in galleria

I Manuali [22][21] prevedevano per le gallerie in roccia la larghezza di 1 m e l'altezza da 1,5 m a 2 m se vi lavoravano due minatori per un'ora di turno, oppure larghezza e altezza tra 1,8 m e 2 m se le coppie di minatori erano due. Chi visita le gallerie esistenti di queste dimensioni può capire quale dovesse essere lo sforzo degli uomini impiegati, non solo per la fatica ma anche per la posizione veramente incomoda in cui si doveva operare. A questo si aggiunga gli stillicidi, la polvere e le temperature.

La tecnica delle volate era già simile all'attuale [24]:

Nelle gallerie e nei pozzi, il lavoro passa per le seguenti fasi:

1. *Esecuzione dei fori da petardo;*
2. *Caricamento e intasamento;*
3. *Esplosione delle cariche e fasi successive;*
4. *Aerazione;*
5. *Rimozione dei frammenti di roccia rimasti ancora aderenti alla fronte di attacco e sgombro sollecito dei detriti.*

Oppure dalle Istruzioni [22]:

Nel caso di una fronte costituita da una parete di roccia omogenea, i fori devono convergere verso il centro della sezione: i fori laterali con inclinazione maggiore di quelli centrali; questi devono essere fatti esplodere per primi, quindi il più alto (detto corona) e successivamente i fori laterali procedendo dall'alto in basso. La lunghezza dei fori non deve in generale superare gli 80 cm; se la roccia è dura e compatta deve limitarsi a 50 cm. I fori devono essere lavati e prosciugati prima del caricamento.

Come si può vedere dalla Table 4, i dati raccolti sono estremamente eterogenei, dipendendo ovviamente dal metodo di perforazione (a mano o con perforatori), dal litotipo, dalla sua fratturazione, dalle dimensioni della galleria, dal tipo di esplosivo, dall'areazione e dalla presenza di acqua. Il lavoro veniva generalmente svolto da squadre su due o tre turni nell'ambito delle 24 ore. Anche la situazione logistica può aver influenzato gli scavi a seconda della necessità di non produrre rumori rilevabili dal nemico, dalle difficoltà di evacuare il materiale di risulta senza essere visti e dall'approvvigionamento dei materiali in condizioni logistiche estremamente difficili.

Table 4: Avanzamenti e sezioni in galleria con 3 o 4 turni al giorno di 6 ore o di 8 ore [12].

Tunnel	**Advancement [m/day]**	**Section [m]**	**Notes**
Monte Cimone	3,2	1,1 x 0,8	With drillers
Col di Lana	1,2		By hand
Monte Sief	4,0		48 men, 4 drillers, 4 shifts
Lagazuoi	5,5	1,9 x 1,9	With drillers
Castelletto	5,0 – 6,0	2,0 x 1,8	120 men, 4 shifts per day
Monte Piana		2,0 x 1,8	Listening tunnel
Monte Rosso	1,2 – 1,5		With drillers
Carso	0,4 – 1,5	1,5 x 1,0 / 1,0 x 0,8	By hand

Fig. 21: Le ottime caratteristiche dell'ammasso roccioso nella mulattiera di accesso a Monte Cengio [9].

4. La Linea Cadorna

I primi studi sulla costruzione di una linea difensiva italiana lungo il confine italo–svizzero a fronte di possibili invasioni risalgono alla seconda metà del secolo XIX. Ma è all'inizio del 1915 che Guardia di Finanza, Carabinieri e Milizia Territoriale, insieme ad alcuni reparti del Genio Minatori, cominciano a predisporre rifugi e postazioni in caverna nonché strade militari.

Nel 1916 tra Domodossola e Colico vennero previsti 150 km di trinceramenti e 150 km di strade per l'artiglieria, con l'impiego di 15.000 operai per tre mesi. Un temuto sbocco austro-germanico attraverso Svizzera, sul tipo di quello tentato nel maggio – giugno 1916 sull'Altipiano dei Sette Comuni, e la dichiarazione di guerra alla Germania da parte dell'Italia (28 agosto 1916) diedero sprone ai lavori difensivi su quella che verrà chiamata la Linea Cadorna [36].

Per meglio inquadrare geograficamente questa parte di fronte che non dovette essere mai utilizzata, se ne riporta la divisione in settori del 1916 (Fig. 22):

1° Monte Dolent – Monte Rosa;

2° Monte Rosa – Verbano;

3° Verbano – Ceresio (Lago di Lugano);

4° Meda – Adda.

Tra il Monte Dolent in Valle d'Aosta e il Passo di Resia in Alto Adige la frontiera si snoda per circa 700 km, dei quali solo 220 praticabili per una invasione [36]. Le opere in sotterraneo erano distribuite nei punti nei quali la morfologia avrebbe permesso la penetrazione delle armate nemiche, in particolare sullo sbarramento della Val d'Ossola, della Val Chiavenna e la difesa del Lago Maggiore [35] (3° e 4° settore).

Dal 1916 al 1918 la spesa complessiva dei lavori, tenuto conto della presenza di 15.000 – 20.000 operai, fu di 104 milioni di lire; altri resoconti tuttavia indicano per il 1916 ben 35.000 lavoratori borghesi più 1000 soldati del Genio e della Milizia Territoriale [35].

4.1. La geologia

Per l'assetto strutturale a grande scala si rimanda alla Fig. 4; si tenga inoltre conto che l'alto varesotto è caratterizzato essenzialmente da un basamento cristallino metamorfico a micascisti e gneiss, con copertura di porfidi e tufi, mentre verso sud affiorano calcari e dolomie [35].

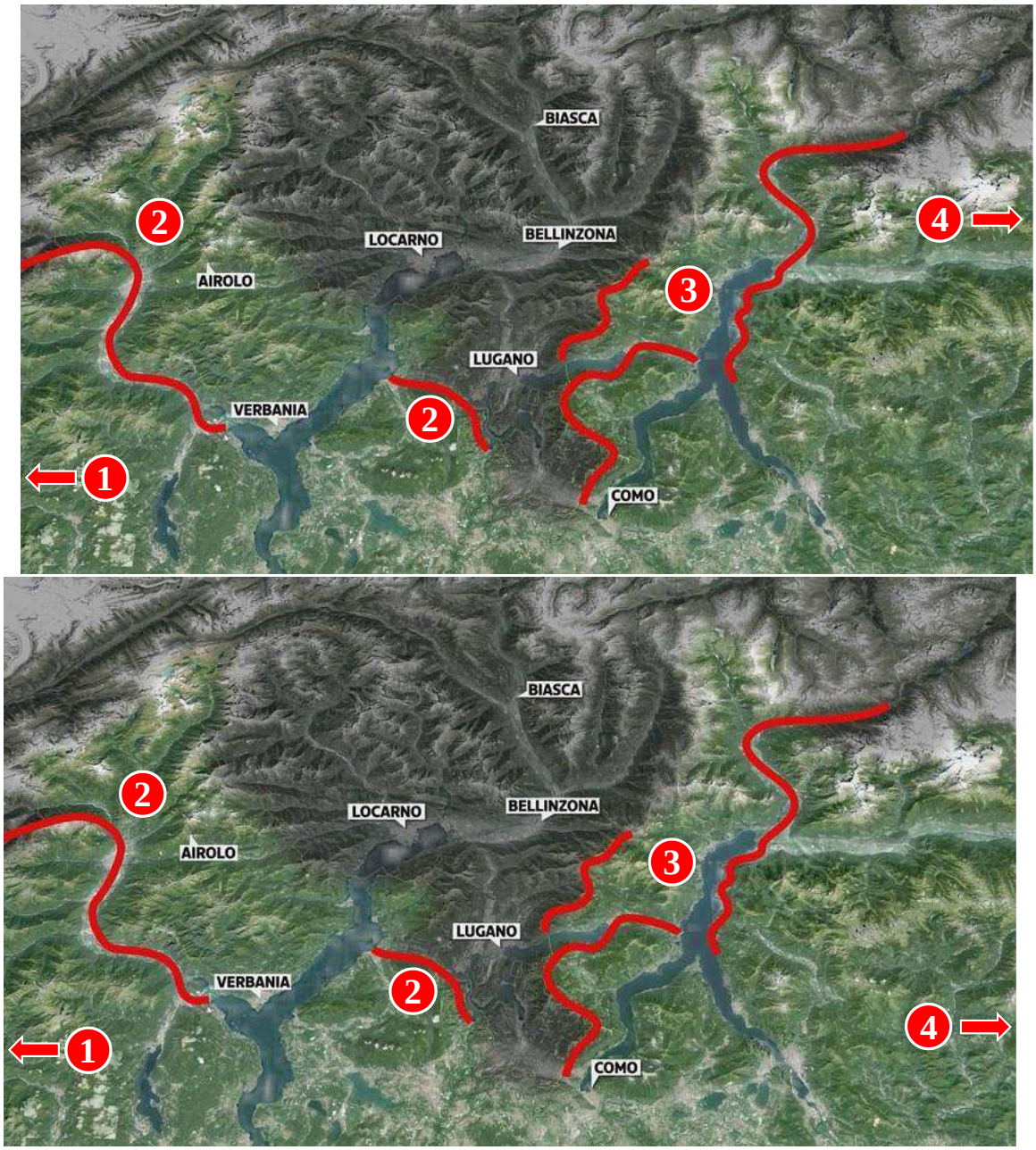


Fig. 22: Settori orientali della Linea Cadorna [19].

Dalla ricerca di Antonio Trotti [35] si ricava che erano stati costruiti 11 appostamenti in caverna, come per esempio quello di Monte Piambello (Fig. 23a) ha una galleria principale lunga 52 m, in parte rivestita nella zona di imbocco, con depositi munizioni (3,4 x 5,2 m) e camini di ventilazione.

Una tipologia di opera particolare, che non si riscontra sul fronte italo–austriaco, è costituita dalle gallerie di mina per la demolizione di infrastrutture di trasporto: nel Comune di Brienno (Como), dove la strada Regina è a picco sul Lario, si trovavano fin dall'Ottocento gallerie stradali che permettevano di abbreviare il percorso costiero. Nelle dolomie compatte furono costruiti, proprio a 5 metri sopra la calotta di una delle gallerie stradali, dei vani sotterranei comprendenti un ricovero-magazzino e lo spazio macchine, due riservette (una per gli inneschi e l'altra per l'esplosivo), sei pozzi di mina, sette condotti laterali di accesso e tre vasche di accumulo dell'acqua di intasamento (Fig. 23b).

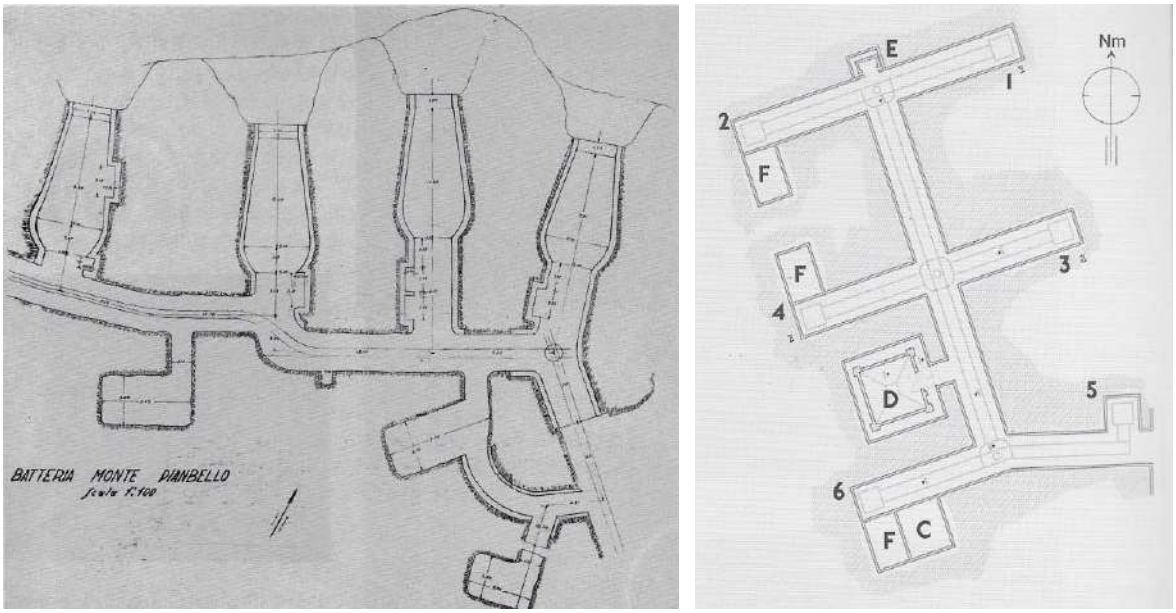


Fig. 23: (a) Pianta di una postazione in caverna a Boarezzo (Varese) per quattro cannoni di medio calibro, detta "Batteria Monte Piambello" [35]. (b) La galleria di mina di Brienno; la galleria principale è lunga 30 metri [35]

5. Conclusioni

È ancor oggi praticamente impossibile una completa quantificazione e catalogazione dell'azione dell'Esercito Italiano nel campo delle opere sotterranee durante la Prima Guerra Mondiale.

Questa eredità meriterebbe un maggior impegno scientifico-analitico in termini di catalogazione, classificazione e studio, come esposto, per esempio, da M. Diederichs e D.J. Hutchinson per le gallerie di Vimy Ridge in Francia [11]. Centinaia di chilometri di gallerie non rivestite sono disponibili per essere trasformati in veri e propri laboratori geomeccanici.

Si è evidenziato come dall'inizio delle ostilità fino al termine della guerra, lo sfruttamento delle potenzialità belliche del sotterraneo passò da casi limitati e puntuali alla realizzazione di opere imponenti e tecnicamente sfidanti, che richiesero il parallelo sviluppo di un vero e proprio settore industriale a esse dedicato. È triste constatare che la guerra, assieme al suo carico di morte, comporta spesso un significativo sviluppo tecnologico. Ciò testimonia che il progresso non corrisponde sempre alla civilizzazione.

Ancor più triste è pensare che molte delle opere descritte, realizzate a prezzo di enormi sacrifici nei primi due anni dall'inizio delle ostilità, risultarono praticamente inutili a causa della rottura del fronte a Caporetto, che tagliò la linea di combattimento da est.

Gli scavi in sotterraneo realizzati dall'Esercito Italiano in tre anni di guerra sono ancora in gran parte visitabili, tanto da diventare un patrimonio non solo storico ma anche paesaggistico, apprezzato da un turismo sempre più attento e attratto dalla possibilità di verificare direttamente le difficoltà sottese alla loro realizzazione.

Le gallerie militari della Prima Guerra Mondiale, specialmente quelle nella regione dolomitica, meritano una visita, offrendo l'opportunità di apprezzare panorami stupendi da punti di vista sorprendenti, su itinerari di ogni livello di difficoltà, dalla semplice passeggiata alle più impegnative vie ferrate. Gli interessati possono contattare il Gruppo Guide Alpine di Cortina e gli autori saranno lieti di poterli accompagnare nella visita delle gallerie che conoscono maggiormente, come quelle del Castelletto delle Tofane e del Lagazuoi.

Ringraziamenti

Si ringrazia il dott. geol. Emanuele Pasquale per i suggerimenti forniti.

Bibliografia

[1] 1946. Carta Geologica d'Italia, Foglio n. 37: Bassano del Grappa. Scala 1:100,000. ISPRA.

[2] 1968. Carta Geologica d'Italia, Foglio 36: Schio. Scala 1:100,000. ISPRA.

[3] 1977. Carta Geologica d'Italia, Foglio n. 028: La Marmolada. Scl. 1:50,000. IGM. Servizio Geol. d'Italia.

[4] 2005. Carta Geologica d'Italia, Foglio n. 029: Cortina d'Ampezzo. Scala 1:50,000. APAT.

[5] 2013. Carta Geologica del Carso Classico a scala 1:10,000 – Progetto GEO-CGT. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

[6] Backhouse, A. (2017). The War Underground. Tunnels&Tunnelling, July.

[7] Bertè, T. (2013). Guerra di mine sul Monte Zugna. "Trincerone" (1915-1918). Rovereto: Museo Storico della Guerra.

[8] Carulli, G.B. (2006). Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia a scala 1:150,000. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

[9] Cortelletti, L., & Acerbi E. (1997). Da Cesuna al Monte Cengio. Valdagno (VI): Gino Rossato Editore.

[10] Desio, A. (1973). Geologia d'Italia. Torino: UTET.

[11] Diederichs, M., & Hutchinson, D.J. (2019). Tunnel warfare in World War I: the underground battlefield tunnels of Vimy Ridge, France. 45th World Tunnel Congress «Tunnels and Underground Cities», Napoli.

[12] Di Martino, B. (2017). La guerra di mine sui fronti della Grande Guerra. Valdagno (VI): Gino Rossato Editore.

[13] Enciclopedia Treccani http://www.treccani.it/enciclopedia/prima-guerra-mondiale/.

[14] Fornasero, D. (2007). Carta delle Unità Strutturali delle Alpi divise nei tre domini paleogeografici, su: https://it.wikipedia.org/wiki/File:Schema_tettonico_delle_Alpi.jpg

[15] Fossa-Mancini, E. (1925). Storia della geologia militare. Giornale di Geologia pratica, XX, 40-110.

[16] Gattera, C. (1995.) Il Pasubio e la strada delle 52 gallerie. Valdagno (VI): Gino Rossato Editore.

[17] http://www.peritiminerari.it/site/ellOr-ConTenTT/uploads/2015/10/16-MINE-E-GALLERIE-b.pdf

[18] https://bur.regione.veneto.it/BurvServices/pubblica/burvGalleryDettaglio.aspx?id=1725

[19] https://storiedimenticate.it/linea-cadorna/

[20] Isnenghi, M., & Rochat, G. (2008). La Grande Guerra 1914 – 1918, Il Mulino, Bologna.

[21] Ispettorato Generale del Genio (1915). Manuale per l'Ufficiale del Genio in guerra, fascicolo 1. Torino: Tipografia Rattero.

[22] Istruzioni pratiche del Genio (1917). Tipografia L. Rattero, Torino.

[23] Làstrico, L. (1940). L'Arma del Genio nella Grande Guerra 1915-1918. Roma: Ministero della Guerra.

[24] Manualetto per i minatori di Fanteria (1917). Arti Grafiche Vicentine G. Rossi e C., Vicenza, (ripreso da Trotti, 2011, da p. 275).

[25] Massignani, A., & Bellò, G. (2001). Guida al Monte Grappa. Valdagno (VI): Gino Rossato Editore.

[26] Ministero della Guerra (1927). L'Esercito Italiano nella Grande Guerra, volume I (Narrazione). Roma.

[27] O'Reilly, M. (2016). Tunnel Warfare. Tunnels&Tunnelling July and August.

[28] Pasquale, E. (2018). La geologia militare e la Grande Guerra, su: https://ignotus.it/index.php/2018/12/21/la-geologia-militare-e-la-grande-guerra/

[29] Pedemonte, S., & Pizzarotti, E.M. (2019). The First World War Military Tunnels of the Italian-Austrian front. 45th World Tunnel Congress «Tunnels and Underground Cities», Napoli.

[30] Pieri, P. (1968). La nostra guerra tra le Tofane. Vicenza: Neri Pozza.

[31] Pieropan, G. (1990). Monte Pasubio. Valdagno (VI): Gino Rossato Editore.

[32] Scrimali, A. & F. (1995). Alpi Giulie. Escursioni e testimonianze sui monti della Grande Guerra. Trento: Edizioni Panorama.

[33] Striffler, R. (2006). Guerra di mine nelle Dolomiti. Monte Sief 1916-1917. Trento: Edizioni Panorama.

[34] Touring Club Italiano (1928). Sui campi di battaglia – Il Monte Grappa.

[35] Trotti, A. (2011). Le grandi opera in caverna della Frontiera Nord. Temù (BS): Museo della Guerra Bianca in Adamello.

[36] Viviani, A. & Corbella, R. (2017). Tutta la Linea Cadorna, Macchione ed., Varese.