

Schema sintetico

Modulo C Il fuoco greco

TITOLO DEL MODULO	SCUOLA	a.s
Il fuoco greco	Classe	docenti

Titolo dell'unità didattica	Prerequisiti	Descrittori di modulo	Competenze	Capacità	Collegamenti
1. L'imperialismo dei Bizantini e il fuoco greco Laboratorio	Conoscenze di base sui tipi di carte, loro scale e tipologie.	A. Far conoscere le caratteristiche principali del rapporto uomo/ambiente/ tecnologia militare	Decodificare e confrontare carte geografiche, topografiche e fonti visive	Rielaborazione. Riutilizzazione delle conoscenze e delle competenze.	Storia Geografia. Italiano.
2. La gelosa custodia della formula del fuoco greco Laboratorio	Conoscenze generali sulla civiltà romana Capacità di trarre informazioni da testi scritti e visivi (vari tipi di fonti).	B. (rapporto tra territorio e sue risorse, tra organizzazione dello spazio e attività dell'uomo).	Ricavare informazioni da testi scritti, classificarle e schematizzarle sulla base di criteri dati.	Analisi critica.	Chimica Tecnologia e disegno. Arte.
3. Dalle armi non convenzionali antiche a quelle moderne. Laboratorio	Capacità operativo-manuali. Conoscenze di base di chimica		Ricerca autonomamente informazioni utili all'arricchimento del lavoro. Formulare ipotesi. Sintetizzare e concettualizzare oralmente e per iscritto o con schemi Confrontare. Operare con il computer. Lavorare individualmente e in gruppo. Memorizzare informazioni.		

Contenuti	Metodologia	Strumenti	Verifiche	Tempi
<p>1. Cronologia della storia bizantina in relazione all'uso del fuoco greco</p> <p>2. Come e dove veniva elaborata la composizione delle palle di fuoco greco</p> <p>3. Le armi non convenzionali dalle civiltà antiche fino ai giorni nostri</p>	<p>1. Esplicitazione dei contenuti, degli scopi e delle modalità di lavoro del modulo agli studenti.</p> <p>2. Brainstorming su concetti/idee.</p> <p>3. Lezioni interattive.</p> <p>4. lavori individuali, di coppia, in piccoli gruppi eterogenei, con definizione dei ruoli.</p> <p>5. simulazione di conferenze.</p> <p>6. attività di rielaborazione creativa</p>	<p>1. Immagini fotografiche, in diapositive, da testi, da computer.</p> <p>2. Carte geostoriche e topografiche.</p> <p>3. Testi scritti: canzoni, testi letterari, fonti storiche...</p> <p>4. Filmati.</p>	<p>In itinere, con creazione di prodotti intermedi come carte ricostruttive e non, relazioni scritte o orali.</p> <p>Sommative con la creazione di prodotti finali come un ipertesto.</p>	<p>Secondo quadrimestre per tre ore la settimana.</p>

Elaborazione didattica

L'elaborazione del modulo didattico relativo al fuoco greco prevede tre unità didattiche, da proporre a un biennio superiore dell'Itis. Il percorso di documentazione e ricerca si propone di individuare le linee guida della ricerca degli storici su tale argomento fino ad arrivare alle armi letali dei nostri giorni, in particolare quelle batteriologiche.

L'intero processo deve avvenire attraverso un approccio interdisciplinare per sperimentare un percorso di lavoro che ha il fine di coniugare la consueta pratica didattica con una modalità laboratoriale di apprendimento, basata sulla partecipazione attiva dello studente, che diventa protagonista delle unità proposte. Gli studenti, in pratica, vengono sollecitati operativamente, intellettualmente e creativamente a diventare attori principali dell'azione didattico - modulare.

Il cosiddetto «fuoco greco», dei Bizantini ha sempre rappresentato un mistero per gli studiosi moderni che si sono a lungo interessati all'argomento indagando sui suoi componenti e sul modo di lancio.

Il fuoco liquido era un'arma particolare dei Bizantini e quando veniva impiegata nelle battaglie navali aveva l'effetto di annientare l'avversario. Nelle fonti bizantine se ne parla sempre in modo generico, senza entrare in merito ai suoi componenti, in quanto la sua formula era un segreto di Stato. Non si hanno reperti archeologici, ma si può ipotizzare che venne usato per circa cinque secoli dai Bizantini, probabilmente fino al tempo della Quarta Crociata.

Qualche elemento della sua ricetta più tardi passa anche agli Arabi, i quali però lo usano in maniera diversa. Accanto al fuoco liquido si hanno altri tipi di armi da fuoco, tutti chiamati, dalle fonti non bizantine, indifferentemente con l'appellativo di «fuoco greco»; tutto ciò ha contribuito ad accrescere talvolta la confusione riguardo all'argomento.

In età moderna molti studiosi si sono dati da fare per rivelare il «segreto» del fuoco liquido, indagando in un primo tempo sulla sua possibile composizione e poi sul possibile modo di lancio.

Rimane il fatto che questa micidiale arma rese possibile ai Bizantini il dominio globale nel Mediterraneo e la sicura vittoria contro tutti i suoi nemici.

La miscela del fuoco greco era frutto dell'invenzione di un ingegnere siriano, Kallinikos, profugo da Eliopolis, proprio nel primo periodo dell'assedio arabo di Costantinopoli nel 674-678. Questa invenzione consentì ai Bizantini e alla loro flotta, in quella fase, di bruciare le navi arabe e i loro equipaggiamenti.

A causa del fuoco greco, l'"imperialismo" dei Romani d'Oriente dovette necessariamente improntare la sua azione sul controllo della produzione e il commercio del legname e del petrolio nelle aree geografiche della Mesopotamia, del Caucaso e dell'Asia Minore. Anche alcune città autonome dell'Italia meridionale "subivano pressione" dall'impero bizantino affinché non vendessero lo "strategico" legname.

Si potrà a questo punto prendere in considerazione un breve percorso storico per verificare come, nel corso dei secoli, popolazioni e nazioni abbiano continuato a far uso e a temere gli effetti di armi "non convenzionali". Durante il Novecento questo sviluppo ha raggiunto livelli precedentemente impensabili e alcune invenzioni hanno trovato una tragica applicazione non solo nelle due guerre mondiali ma anche nelle molteplici guerre cosiddette locali.

Schede per lo svolgimento dei laboratori.

TITOLO DEL MODULO Il fuoco greco Laboratorio 1	U.D.: L'imperialismo dei Bizantini e il fuoco greco
---	---

Competenze e descrittori

- sa ricavare informazioni da vari tipi di documenti;

Documenti

Doc. 1 Gabriele Pasch, Il fuoco greco, in Archeologia Medievale, EDIZIONI ALL'INSEGNA DEL GIGLIO, XXV, 1998, pp. 359-368,

Attività 1 e Metodologia 1

Lettura del brano che ricostruisce la storia dei Bizantini e dell'uso del fuoco greco attraverso una serie di fonti storiche.

L'insegnante riprende le informazioni principali e guida gli studenti all'analisi di un testo complesso e articolato.

Attività 2 e Metodologia 2

Dopo un attento esame del brano proposto, l'insegnante propone l'elaborazione di una mappa concettuale relativa alle varie fasi di perfezionamento dell'uso del fuoco greco.

Documenti.

Doc. 1

COPYRIGHT © EDIZIONI ALL'INSEGNA DEL GIGLIO

Archeologia Medievale

XXV, 1998, pp. 359-368

Gabriele Pasch

Il fuoco greco

Quello che comunemente viene chiamato il «fuoco greco», dai Bizantini designato giustamente con «fuoco liquido», è sempre stato un mistero per gli studiosi moderni che si sono interessati dell'argomento indagando sui suoi componenti e sul modo di lancio.

Il fuoco liquido è l'arma per eccellenza dei Bizantini e quando viene impiegato nelle battaglie navali ha l'effetto di annientare l'avversario. Le fonti bizantine lo menzionano sempre in modo generico, senza mai dire alcunché sui suoi componenti, in quanto la sua formula è un segreto di stato. La maggior parte delle fonti che danno informazioni sul suo conto sono posteriori a Teofane di alcuni secoli.

Il fuoco liquido, per il quale non abbiamo finora reperti archeologici, viene usato per circa cinque secoli dai Bizantini, probabilmente fino al tempo della Quarta Crociata.

Qualche elemento della sua ricetta più tardi passa anche agli Arabi, i quali però lo usano in maniera diversa. Accanto al fuoco liquido si hanno altri tipi di armi da fuoco, tutti chiamati indifferentemente con l'appellativo «fuoco greco» dalle fonti non bizantine, il che accresce talora la confusione riguardo all'oggetto reale della nostra indagine.

Cerchiamo di avvicinarci il più possibile al segreto del «fuoco greco» iniziando con alcune citazioni tratte da fonti antiche, per risalire infine alle ricerche più importanti degli studiosi moderni .

«L'impiego del fuoco in guerra è così antico come la tecnica di guerra» . Fin dall'inizio della nostra era in Oriente si ha una particolare inclinazione verso i fuochi artificiali,

che in Occidente manca completamente, forse per la paura che incutono le sostanze incendiarie . Già nell'assedio di Delo nel 425 a.C. si usa una primitiva forma di lanciafiamme. Nel primo secolo a.C. i Greci dell'Asia Minore usano la nafta (petrolio greggio) per difendersi dai Romani. Anche i Persiani fanno grande uso di nafta e di olii distillati nelle loro guerre, poiché la nafta si trova a sufficienza come risorsa naturale nella loro regione. I Romani conoscono la nafta come «olio della Media», ma non sviluppano il suo uso in guerra, in quanto sono lontani dalle fonti di approvvigionamento .

In età antica, a parte la nafta, troviamo anche la prima menzione del salnitro da parte di Dioscoride e di Plinio il Vecchio , fatto che viene contestato da alcuni autori moderni . Il salnitro, insieme alla nafta, probabilmente costituisce una delle componenti base del «fuoco greco».

Verso il 300 si ha una formula per un «fuoco automatico» in Giulio Africano. Il testo ci dice che lo si prepara prendendo zolfo non bruciato, sale estratto dalla pietra, pietra di fulmine, pirite per parti uguali. Il tutto viene pestato in un mortaio nero a mezzogiorno; alle sostanze si aggiungono succo latteo di sicomoro nero e bitume liquido di Zante, in parti uguali, ed il preparato viene mescolato fino ad ottenere una pappa sciolta; dopodiché si deve aggiungere un po' di calce viva. I materiali vanno mescolati bene a mezzogiorno e bisogna proteggere il viso, perché la miscela può infiammarsi all'improvviso. Il preparato va chiuso bene in vasi di rame e conservato così per essere pronto per l'uso. Che sia protetto dai raggi di sole e venga utilizzato contro i nemici al tramonto, perché quando il sole è intenso basta uno sbaglio per incendiare tutto .

Questo «fuoco automatico» di Giulio Africano è forse la ricetta più completa che oggi possiedono gli storici riguardo al fuoco liquido ed in più è una delle prime testimonianze per una accensione automatica.

Nel periodo bizantino si ha la prima menzione di una miscela incendiaria in Giovanni

Malala (6.° sec.) a proposito della ribellione di Vitaliano contro Anastasio I nel 512, allorché il filosofo Proclo si presenta all'imperatore per offrirgli i suoi servizi. (...).

Quando Teofane parla la seconda volta di una sostanza incendiaria usata dai Bizantini a proposito del nuovo assedio arabo di Costantinopoli, troviamo per la prima volta l'espressione «fuoco liquido». E descrive la paura che coglie gli Arabi dopo la distruzione di gran parte della loro flotta.(...).

Lo stesso Teofane usa anche altri appellativi per il fuoco liquido, sempre a proposito del secondo assedio di Costantinopoli, come «fuoco romaico». (...). In seguito il cronista usa anche il termine «fuoco artificiale».(...).

L'espressione «fuoco liquido» è la nuova denominazione tecnica, la quale ha il vantaggio di indicare esattamente di che tipo di arma si tratta e che quest'arma è base di nafta (...).

L'imperatore Leone VI (886-912) nei suoi *Tactica* ci descrive tre tipi di fuochi dei suoi tempi, anche se tralascia volutamente le loro ricette. Per quanto riguarda il primo tipo, che deve essere il «fuoco greco» vero e proprio, cioè quello liquido, egli ci informa che durante le battaglie navali il fuoco artificiale viene lanciato dalla prua per mezzo di tubi lunghi di rame contro i nemici. (...). Si tratta cioè di una specie di lanciafiamme che sfrutta l'energia chimica per gettare il liquido.

Il secondo tipo di fuoco concerne invece vasi pieni di miscele incendiarie o effervescenti che rompendosi si disperdono e soffocano i combattenti, creando grande confusione tra le file avversarie. (...).

Questa variante dei vasi incendiari è un sistema di cui più tardi gli Arabi faranno grande uso.

Sempre da Leone apprendiamo che una nuova invenzione si fa strada proprio in quegli anni, i «sifoni a mano».(...).

Naturalmente questi sifoni a mano sono utilizzabili solo a distanze più brevi. Si possono impiegare con successo anche in terraferma.

Per quanto riguarda la possibile composizione del fuoco liquido, ci si può fare un'idea prendendo in considerazione il testo del *Liber ignium ad comburendos hostes* di Marco

Greco, il quale ci fornisce una ricetta presunta del fuoco liquido ed un'altra della polvere da sparo. Il *Liber ignium* è peraltro una conferma che il salnitro è conosciuto dai Bizantini in quegli anni in forma più o meno pura .Incerta è la datazione del *Liber ignium*. Krumbacher pensa che sia stato scritto nel nono secolo , Mercier lo ambienta un secolo dopo i *Tactica* di Leone VI . Anche se non si conosce

niente di preciso riguardo a Marco Greco, si può supporre che il suo testo sia una trascrizione o la rielaborazione di un testo greco più antico, probabilmente contemporaneo a Costantino Porfirogenito. La formula del fuoco liquido sarebbe la seguente: «Ignem graecum tali modo facies: Recipe sulphur vivum, tartarum, sarcocollam et piceam, sal coctum, oleum, petroleum et oleum gemmae. Facias bullire invicem omnia ista bene. Postea impone stupae et accende, quod si volueris exhibere per embotum, ut supra diximus. Stupa illinita non extinguetur, nisi urina vel aceto vel arena».

Il «sal coctum» (sale cotto) è un sale raffinato tramite ebollizione ed evaporazione, un processo che corrisponde precisamente a quello del raffinamento del salnitro. (...).

Accanto alla formula per il fuoco liquido Marco Greco ce ne fornisce un'altra per la polvere da sparo, la più antica di cui disponiamo sulla materia, chiamata da Marco Greco

«ignis volatilis». La presenza di quest'ultima formula ha indotto certi studiosi, fra cui Eickhoff, a ritenere che il fuoco liquido sia una forma primitiva della polvere da sparo: dalla miscela bizantina fino alla polvere da sparo ci sarebbe solo un passo. Non ci occupiamo in questa sede della polvere da sparo e perciò non indaghiamo ulteriormente sulla questione .

Abbiamo una importante menzione del fuoco liquido, sempre del X secolo, nel De administrando imperio di Costantino Porfirogenito (913-957), dove esso viene considerato un segreto di stato. L'imperatore nella sua opera raccomanda a suo figlio ed erede di non rivelare mai a nessuno il segreto del fuoco liquido, il quale viene lanciato tramite tubi, e se qualcuno mai gli lo domandasse, come avviene spesso, dovrebbe dire che questo segreto è stato rivelato ed insegnato da Dio tramite un angelo al grande e santo Costantino, il primo imperatore cristiano. (...) Il Porfirogenito prosegue che il fuoco dovrebbe essere prodotto da soli cristiani nella città governata da loro (...) e che colui che fornisce ad un'altra nazione informazioni su questo fuoco non dovrebbe né essere chiamato cristiano né essere considerato degno di un rango, ma essere mandato via per sempre con maledizione per dare un esempio, sia che colui che cerca di infrangere questo comandamento è un imperatore, o un patriarca o qualsiasi altro, superiore o subalterno. (...).

Così importante è la conservazione del segreto di stato che non c'è nessun perdono per chi lo infrange. Ma anche quando per caso un po' del fuoco liquido cade nelle mani di altre nazioni, non è detto che sappiano maneggiarlo: così succede nell'814 con i Bulgari nelle cui mani cadono 36 sifoni ed una riserva del liquido.

Un uso in grande scala del fuoco liquido si fa nel 941, quando l'Impero viene minacciato dallo zar Igor di Kiev, la cui flotta viene annientata durante la loro ritirata da quella bizantina. A proposito di questo evento apprendiamo dal racconto del vescovo Liutprando da Cremona che il mare, per lanciare il fuoco liquido, deve essere calmo: «... ventis tunc placidum reddidit mare. Secus enim ob ignis emissionem Grecis esset incommodum».

Una delle ultime fonti che ci parla del fuoco liquido è rappresentato dalla figlia dell'imperatore Alessio Comneno I (1081 - 1118). L'autrice ci dà ulteriori informazioni sull'azionamento dei sifoni.

Per quanto riguarda il suo lancio, Anna ci dà la seguente informazione a proposito della battaglia navale che avviene nel 1103 a Rodi fra Bizantini e Pisani: L'imperatore (Alessio I) fa installare alla prua di ogni nave teste di leoni e di altri animali terrestri in bronzo o in ferro con le fauci aperte, e li fa indorare cosicché già il loro solo aspetto è terrificante.

Il fuoco poi viene lanciato grazie agli strepta per mezzo di tubi che egli fa passare attraverso le gole di questi animali per farli sembrare vomitare. (...).

Sempre a proposito della battaglia navale presso Rodi, Anna Comnena ci dice che quando Landolfo attacca le navi nemiche dei Pisani, egli dapprima non riesce a lanciare bene il fuoco liquido. Dopodiché il conte Eleimon viene attaccato dalla più grande nave nemica, il che lo mette in una posizione sfavorevole, ma grazie alla sua sveltezza riesce a

lanciare con pieno successo il fuoco liquido. Poi dirige velocemente la sua nave contro un'altra ed incendia una dopo l'altra tre delle più forti unità barbare. I Pisani vengono terrorizzati dal fuoco lanciato, dato che non sono né abituati a questo tipo di congegno né alle fiamme che, anziché ascendere

naturalmente verso l'alto, possono essere dirette in qualsiasi direzione lo volesse il lanciatore, spesso verso il basso o verso il lato.(...).

Da questo passaggio emerge che un solo uomo è sufficiente per lanciare il fuoco liquido, ma anche che il lanciatore deve essere persona ben addestrata. Si può inoltre supporre che si tratti della stessa sostanza liquida usata durante gli assedi arabi di Costantinopoli.

Anna ci dà anche un'informazione sull'uso di un altro tipo di fuoco, usato in terraferma. A proposito dell'assedio di Durazzo da parte di Roberto il Guiscardo nel 1081/ 82,

quando i nemici con una gigantesca e terribile torre cercano di avvicinarsi alla città, Anna ci dice che anche i difensori ne costruiscono una. Quando i soldati di Alessio salgono su questa torre con il «fuoco umido» nell'intento di lanciarlo contro la torre del nemico, si rendono conto che questo metodo non basta per annientare l'avversario, dato

che il fuoco così lanciato non farebbe che sfiorarlo. Allora che cosa fare? Si riempie tutto lo spazio fra la torre di legno e quella della città con ogni specie di materiale facilmente infiammabile, su cui si versa abbondantemente l'olio, e per mezzo di torce si incendia il fuoco, il quale brucia lentamente per qualche tempo, ma dopo, con un leggero soffio, ascende da fiamma raggianti. Dopo aver aggiunto fuoco liquido in grande quantità per aumentare l'effetto, la terribile macchina (nemica) finalmente prende fuoco con grande boato, offrendo uno spettacolo orribile.(...).

Sempre in connessione con l'assedio di Durazzo da parte dei Normanni, Anna ci dà anche una ricetta incompleta di una miscela incendiaria, la quale sembra essere meno

potente di quella del fuoco liquido e che viene lanciato da una più breve distanza. Essa consiste di resina e zolfo, introdotti all'inizio da una canna e mandati attraverso un forte e continuo soffio verso l'altra parte della medesima dove si imbatte in una fiamma. La miscela si infiamma e cade come un fulmine sui volti che si trovano davanti. (...):

La ricetta del fuoco liquido può essere mantenuta segreta al massimo per tre o quattro secoli, dopodiché qualcosa trapela agli Arabi. Infatti, le fonti più ricche riguardo alle sostanze incendiarie a base di nafta si trovano da parte araba.

Non si sa esattamente a partire da quando gli Arabi conoscono il salnitro. In ogni caso Avicenna (980-1037) intorno al 370 dell'egira (992 d.C.) parla del salnitro sotto il nome «fiore di Asios». (...).

I testi arabi che citano l'uso di nafta sono molti. Secondo il Mercier la prima fonte che menziona l'uso della nafta in guerra è di Al-Tabari, quando parla della spedizione araba nelle Indie nel 160 dell'egira (782 d.C.).

Gli Arabi, trovandosi alle fonti del petrolio, diventano ben presto esperti nell'uso delle armi da fuoco, specialmente ai tempi delle crociate, quando l'uso della nafta diventa

frequente contro i cristiani dell'Occidente. Questi ultimi chiamano indifferentemente ogni forma di arma incendiaria con l'appellativo di «fuoco greco», anche quando ne

vengono a contatto da parte araba. Così accade nel rapporto di Giovanni di Joinville, che ci dà la descrizione di uno scontro fra gli Arabi dell'Egitto e l'esercito di Luigi IX di

Francia intorno al 1248: «Il fuoco greco era il seguente: la parte anteriore veniva su di te come una botte di aceto, e la coda della fiamma che ne usciva era così lunga come una

lancia lunga. Faceva tanto fracasso che pareva essere il tuono del cielo. Rassomigliava ad un dragone volante per l'aria. Emetteva una luce tanto intensa che si poteva vedere così

bene nel campo come se fosse stato giorno, a causa della grande quantità di fuoco che emanava un gran chiarore. Quella notte ci bombardavano tre volte con il fuoco greco e quattro volte lo lanciavano con la balestra girevole.

Comunque questo fuoco non sembra essere stato tanto efficace, perché lo stesso Joinville ed i suoi compagni sono sopravvissuti all'attacco arabo.

Alcuni studiosi, come per esempio la Davidson e Haldon e Byrne, pensano che il liquido usato dagli Arabi non sia il fuoco liquido dei Bizantini. Infatti, nel racconto il fatto stesso che esso venga lanciato con una balista, secondo Joinville, e non con i sifoni lanciafiamme descritti da Teofane e Leone VI, dimostra, a nostro avviso, che si tratta di

uno degli altri tipi di fuoco come vengono descritti nei *Tactica* di Leone. Si tratterebbe nel caso di Joinville piuttosto dei vasi pieni di miscele incendiarie simili a quelli menzionati più avanti e che possono benissimo essere scagliati con una balista.

Un altro fatto che corrobora la non coincidenza fra fuoco liquido e «fuoco arabo» è la mancanza nelle fonti dell'uso del «fuoco arabo» contro gli stessi Bizantini, appunto perché quello arabo meno potente non avrebbe prodotto un grande effetto su quello bizantino distruttivo. Questo «fuoco arabo» fa comunque grande impressione sugli Occidentali, soprattutto ai tempi delle Crociate.

Una variante di arma da fuoco assai frequentemente usata presso gli Arabi sono le granate, contenenti una polvere esplosiva, di cui si sono trovati molti esempi sopravvissuti al grande incendio di Fostat (il vecchio Cairo) avvenuto nel 1168.

Sappiamo che gli Arabi impiegano truppe speciali per il lancio del loro fuoco, le cosiddette *naffatin*, le quali, particolarmente esposte al pericolo di bruciarsi, sanno proteggersi con adeguate tuniche di talco. Sicuramente anche presso i Bizantini gli uomini addetti al lancio del fuoco liquido dovevano avere un vestimento particolare per prevenire eventuali incidenti.

Il fuoco liquido viene menzionato nelle fonti bizantine ancora da Niceta Coniata (c. 1155/7 - 1217), il quale lo cita tra l'altro a proposito della riconquista di Corfù sotto l'imperatore Manuele I Comneno nel 1149, strappata ai Bizantini dal normanno Ruggero II due anni prima. (...).

Dopo questa fonte non abbiamo più nessuna menzione di una miscela incendiaria, ad eccezione di una citazione in Cinnamo, fino all'assedio di Costantinopoli ad opera di Maometto II nel 1453. (...).

Dopo la conquista di Costantinopoli nel 1453 le varie miscele incendiarie, anche se a volte chiamate con l'appellativo «fuoco greco», continuano ancora ad essere usate.

In età moderna molti studiosi si sono dati da fare per rivelare il «segreto» del fuoco liquido, indagando in un primo tempo sulla sua possibile composizione e poi sul possibile modo di lancio. Dapprima si è pensato che il mistero del fuoco liquido sia da ricercarsi nella sua composizione e perciò non ci si è occupati del suo modo di lancio.

Tutta una serie di studiosi ritiene che l'elemento misterioso nella miscela di Callinico sia il salnitro. Il Berthelot, che ha scritto varie opere sulla chimica in tempi antichi, è uno dei primi ad affermare questa teoria nel 1891(...).

Un'altra serie di studiosi invece vede la calce viva come elemento determinante nella miscela di Callinico, in base al fatto che essa avrebbe la capacità di autoinfiammarsi

appena viene a contatto con l'acqua. Questa teoria è sostenuta, ad esempio, dallo Hime nel 1904. Una terza, più moderna corrente di pensiero riconosce la nafta come l'elemento misterioso (...) e si basano evidentemente su Costantino Porfirogenito, il quale nel *De administrando imperio* menziona varie fonti di petrolio grezzo nella regione di Tmutorakan (Tamarca), nelle moderne regioni di Erzincan e Erzerum, fra Turchia e Georgia.

Il Korres, demitizzando ampiamente la fama del fuoco liquido che secondo lui «sfiora quasi i limiti della leggenda», rigetta la teoria del salnitro come elemento base, sostenendo che l'unica fonte che lo menziona, Marco Greco, non si può datare esattamente. Korres rifiuta anche la teoria della calce viva come elemento determinante in quanto i tentativi nei laboratori avrebbero mostrato «che l'autoaccensione della miscela in questione non avveniva né con la calce viva e neanche con il calcio». Poi aggiunge che non si può parlare «né di miscela esplosiva né di miscela che si infiamma da sola, dato che queste due possibilità non potevano considerarsi realizzabili in età bizantina, almeno fino al tredicesimo secolo».

Però, a proposito di quest'ultimo parere, non bisogna dimenticare due elementi fondamentali: innanzitutto, sulla possibilità di accensione automatica della miscela, ci può dare una risposta la presenza del salnitro nella ricetta di Giulio Africano, una sostanza della quale oggi è molto conosciuta la possibilità di accensione automatica. D'altra parte, l'esplosività della miscela potrebbe, con l'aiuto di certi mescolamenti, garantire l'incontestabile presenza del salnitro, che viene menzionato già in età antica da più fonti, come Dioscoride, Plinio il Vecchio e soprattutto Giulio Africano. Certamente, la probabile esplosività della miscela costituiva una sua caratteristica secondaria, in quanto la punta principale del suo effetto devastante era l'incendio. Per quanto riguarda il possibile modo di lancio, gli

studiosi moderni hanno trovato varie soluzioni, nessuna del tutto soddisfacente. Bisogna dire che il termine «sifone», menzionato dalle fonti bizantine, viene interpretato in vari modi dagli storici.

Lo Hime pensa »che il termine sifone significhi tubo e che con l'aiuto di un tubo si gettasse acqua insieme alla miscela contenente anche salnitro». Purtroppo lo Hime non dà ulteriori spiegazioni sul funzionamento del suddetto sistema.

Per lo Zinghelis sono gli strepta che costituiscono il secondo mistero del fuoco liquido, accanto alla sua composizione. «... Era per mezzo degli strepta che si faceva infiammare il fuoco artificiale», «... erano quelli che costituivano la macchina misteriosa di Callinico per il lancio del fuoco liquido». Lo studioso identifica il «pre-fuoco», che è indipendente dal fuoco liquido, con una forma di polvere da sparo la quale esplose e getta lontano la miscela incendiaria del fuoco liquido. Questa soluzione sembra geniale, abbastanza semplice nella sua realizzazione ed è completamente funzionale, anche se la sua ideazione sarebbe un po' all'avanguardia per quei tempi.(...).

Mercier, per spiegare il funzionamento del fuoco liquido, propone il manoscritto del Cronico di Giovanni Scilitze (XIII sec.) della Biblioteca Nazionale di Madrid, che rappresenta una nave portatrice di sifoni che attacca un'altra con un lanciafiamme. In esso si vede un uomo con un lungo sifone, dal quale proviene un lungo getto del liquido infiammante.

Siamo dell'avviso che qui si tratti del lancio del fuoco liquido, anche se il manoscritto rappresenta il sistema di lancio molto rimpicciolito.

Un'altra soluzione, sempre incompleta, suggerisce la Davidson, la quale pensa che il lancio del fuoco liquido sia la conseguenza del riscaldamento della miscela incendiaria fino al punto di ebollizione. Questo avveniva con l'aiuto di una caldaia a bordo della nave. Evidentemente la Davidson si basa qua sull'informazione di Teofane, a proposito del primo assedio arabo di Costantinopoli.(...).

Però la Davidson non ci dice nulla sull'attrezzo che serviva per lanciare la miscela.

Una soluzione particolare della precedente soluzione per il funzionamento del fuoco liquido propongono Haldon e Byrne. Secondo la loro ricostruzione vi era un braciere per riscaldare il petrolio grezzo. Il meccanismo consisteva in tre parti essenziali: a). un sifone bronzeo, che serviva da pompa a pressione, b). una condotta girevole tramite la quale l'olio veniva gettato in qualsiasi direzione sul nemico e c). una piccola fornace che serviva per scaldare l'olio nel suo contenitore chiuso prima e durante la battaglia. Il fuoco veniva stimolato con un mantice, che produceva un gran rumore .

Il funzionamento è il seguente: «Il petrolio grezzo viene riscaldato lentamente prima della battaglia, poi più fortemente quando arriva il momento del lancio. La pressione aumenta e quando è abbastanza grande, una valvola o qualcosa del genere si apre all'interno del contenitore e, con l'aiuto della pompa, la miscela viene gettata fuori dalla condotta girevole, all'apertura della quale si trova una fiamma».

Secondo noi la realizzazione di questa soluzione sarebbe stata possibile solamente se i Bizantini avessero molte avanzate nozioni di fisica dei liquidi ed una tecnologia avanzata per costruire una pompa così potente. Inoltre, il disegno 3b presenta una lacuna seria, dato che per avere un grande getto della miscela, non dovrebbe contrapporsi aria tra la pompa ed il recipiente.

Anche per Korres questa soluzione sembra troppo complicata per essere eseguita già nel settimo secolo. Egli, in sostanza, esprime un'idea particolare sul fuoco liquido nel suo ultimo saggio sulla materia. Dapprima mette in dubbio che Callinico sia l'inventore del fuoco liquido, perché «... non solo altri popoli, ma gli stessi Bizantini conoscevano, ed usavano, molto prima del settimo secolo, miscele infiammabili a base di nafta ... Gli imperatori della Nuova Roma utilizzavano l'esperienza delle armi da fuoco, in quanto eredi e continuatori della tradizione militare romana ...».

Come ingredienti delle varie miscele incendiarie Korres accetta l'ipotesi che elemento base fosse soprattutto la nafta, accanto a sostanze dure pestate, come lo zolfo e la calce viva, anche se in precedenza riguardo alla calce viva ha espresso un parere diverso . Per quanto riguarda il modo di lancio del fuoco liquido, egli vede la balista romana come il meccanismo più adatto ed elenca

i suoi vari vantaggi, tra cui il fatto che «può lanciare un sifone con una sostanza infiammabile ed esplosiva da una sicura distanza per le navi bizantine e con abbastanza grande possibilità di successo».

Il Korres afferma decisamente che «... il fuoco liquido dei Bizantini non aveva né l'effetto né l'efficacia che gli viene attribuito dalle relativamente poche fonti, le quali in

ogni caso sono vaghe». Le fonti esagererebbero tutte quando descrivono l'effetto tremendo, perché fanno parte di due categorie che hanno buone ragioni per ipervalutare

quest'arma, perché «o sono descrizioni di stranieri che soccombono al fuoco liquido, o rispecchiano le descrizioni delle vittorie dei Bizantini contro i barbari».

Come conclusione il Korres propone, riferendosi all'affermazione di Gibbon, il quale vede il «fuoco liquido come palladium dei Bizantini», che «... palladium di Bisanzio

non è stato il fuoco liquido, ma l'altissima tradizione amministrativa e militare, eredità romana che l'Impero conservava viva».

Per quanto riguarda l'utilizzo della balista come strumento di lancio per il fuoco liquido, l'idea può a prima vista essere buona; tuttavia non concorda affatto con quello che dicono le fonti bizantine, le quali non menzionano per nulla la balista: esse paiono suggerire piuttosto l'impiego di un meccanismo simile a quello del lanciafiamme.

Il parere di Korres sulla limitata efficacia del fuoco liquido sembra appoggiarsi piuttosto sulle fonti che non parlano del fuoco liquido. È, ad esempio, il caso dell'assedio di Vidin da parte di Basilio II nel 1004, il quale dopo otto mesi espugna la città. Durante questo assedio i Bulgari, secondo Giovanni Scilitze, trovano un modo per estinguere il fuoco che viene lanciato in vasi. Questo modo consiste nell'uso dell'urina.

Korres afferma che a causa dell'inefficacia del fuoco liquido i Bizantini ebbero bisogno di otto mesi per espugnare la città.

È evidente che in questo caso non si tratta del fuoco liquido, quello cioè che si usa in mare, ma di uno dei sistemi incendiari conosciuti in Oriente nel Medioevo; nella fattispecie si tratta di vasi a miscela incendiaria. Infatti, questi vasi non hanno l'efficacia del fuoco liquido, pur essendo in grado di provocare grande scompiglio nelle file nemiche.

Sicuramente, e con questo siamo d'accordo con Korres, il fuoco liquido non è stato l'unico palladium dell'Impero bizantino, il quale, in quanto figlio del vecchio Impero

Romano, ha ereditato tutta la sua tecnica militare. All'occorrenza i Bizantini sanno vincere una battaglia anche senza l'utilizzo del fuoco liquido, come nel caso di Vidin e

come nell'assedio avaro di Costantinopoli del 626.

Noi pensiamo che il «mistero» del fuoco liquido non stia solo nella composizione qualitativa, ma anche nel rapporto tra i vari ingredienti, nonché nella concomitanza delle

loro azioni. Certamente, l'elemento di base è in primo luogo la nafta o il petrolio e, in secondo luogo, il salnitro. In essi venivano aggiunti zolfo e resine. La nafta o il petrolio

serve da materiale combustibile di base. Il salnitro, abbinato con lo zolfo, fornisce l'ossigeno per una più intensa combustione che, in più, si estingue difficilmente. La resina, infine, rende la miscela appiccicosa e quindi più devastante. La calce viva, come propone lo Hime, non avrebbe nessun senso in questa composizione, perché non farebbe nessun effetto. La caldaia a bordo delle navi, menzionata da Teofane, viene usata affinché la miscela, riscaldata, diventi più infiammabile.

Dopo la Quarta Crociata, quando ormai è incominciata la fase del declino dello Stato bizantino, inizia anche il peggioramento dell'esercito e della flotta bizantini e per lo Stato diventa più difficile accedere alle risorse naturali della nafta, «in parte per via della concorrenza genovese e delle ostilità nel Mar Nero, in parte per l'arrivo dei Mongoli nella regione delle risorse intorno agli anni 1230».

Il fuoco liquido rimane un segreto dei Bizantini. Quest'arma è usata in mare e lanciata da dromoni sifonofori, sui quali viene anche riscaldato prima del lancio. Infatti, il processo di riscaldamento delle materie incendiarie è difficile da immaginare in campagne militari a terraferma, dove girare con caldaie avrebbe costituito solo un ostacolo.

Tutti gli altri «fuochi greci» non sono altro che quelle tante armi da fuoco sviluppate fin dall'antichità e perfezionate ulteriormente durante il Medioevo nei paesi d'Oriente. Queste armi non costituirono mai un segreto particolare.

Data la fama di arma annientatrice di cui gode il fuoco liquido, ogniqualvolta i nemici dell'Impero vengono a contatto con qualche tipo di fuoco, lo designano con il termine «fuoco greco» e preferiscono darsi alla fuga o arrendersi, come nel caso del russo Svyatoslav, il quale durante la sua campagna nel 971 al sentire della presenza di navi con

il fuoco liquido sul Danubio, si arrende volontariamente per non essere bruciato.

L'effetto psicologico di quest'arma sui contemporanei è stato enorme e siamo d'accordo con il Mercier, quando dice che «il fuoco greco era, per l'epoca, un'arma terrificante e che ispirava una paura comparabile a quella che ci incute al giorno di oggi la bomba atomica».

Schede per lo svolgimento dei laboratori.

TITOLO DEL MODULO

Il fuoco greco

U.D.: La gelosa custodia della formula del fuoco greco.

Laboratorio 2

Competenze e descrittori

- sa ricavare informazioni da vari tipi di documenti;

Documenti

Doc. 1: brani tratti dal testo di Luigi Malerba, *Il fuoco greco*, Milano Mondadori, 2000, pagg. 48-49, 74-82, 94-95, 122-123.

Attività 1 e Metodologia 1

Lettura del brano che ricostruisce le modalità di conservazione della formula del fuoco greco. L'insegnante riprende le informazioni relative alla nomina del Maestro delle Polveri, alla custodia della pergamena a Costantinopoli.

Attività 2 e Metodologia 2

Dopo un attento esame dei testi proposti, l'insegnante propone un questionario relativo agli argomenti trattati

Documenti.

Doc. 1: brani tratti dal testo di Luigi Malerba, *Il fuoco greco*, Milano Mondadori, 2000, pagg. 48-49, 74-82, 94-95, 122-123.

L'Officina delle Polveri dove si fabbricavano i proiettili del fuoco greco era il luogo più segreto e inaccessibile di tutta Costantinopoli, consisteva in un vasto laboratorio che prendeva luce da finestri altissimi e muniti di poderose ferrate, di una camera per il Maestro delle Polveri e di un dormitorio per gli operai. Era situata nella parte bassa dei Palazzi Imperiali, una decina di piedi sopra il livello del Mar di Marmara con il quale comunicava per mezzo di uno stretto condotto ricavato nello spessore delle mura e che arrivava fino alla Darsena Militare nel Porto di Bucoleon, dove erano ancorate le navi da carico, i dromoni, le chelandie e i più leggeri e veloci liburni, in attesa di caricare le palle del fuoco greco che venivano confezionate secondo una formula antica protetta da rigoroso segreto, Poco sopra l'Officina sorgeva il Faro che splendeva dal tramonto all'alba la sua luce intermittente su tutto il Corno d'Oro e sul Bosforo, e mandava i suoi raggi di luce fino ai tetti delle case di Crisopoli e di Calcedonia sulla costa asiatica di fronte a Bisanzio.

L'Officina delle Polveri era più protetta del Primo Gineceo, più segreta delle prigioni militari, più inaccessibile della Sala del Trono. Vi lavoravano venti uomini, quasi tutti ex condannati a morte che avevano avuto l'opportunità di tramutare la loro pena con una reclusione perpetua, sorda e muta, Non soltanto questi uomini avevano accettato di rimanere rinchiusi nella Officina delle Polveri per tutta la vita, ma prima di entrarvi avevano avuto la lingua tagliata e bruciati i timpani con un ferro rovente in modo che non potessero parlare e non potessero udire, interdetta ogni comunicazione per impedire la divulgazione del segreto militare e rendere difficili da fuori eventuali voci di lusinga o di corruzione. La pergamena con la formula segreta della composizione del fuoco greco era depositata nella camera personale del Maestro delle Polveri, compresa nell'area della Officina.

Aveva assunto questo incarico ormai da otto anni, quando ancora regnava Romano II Lecapeno, Leonzio Manuele di Eraclea, un eunuco sfortunato e intelligente, devoto all'Imperatore e, dopo la sua morte, devoto alla giovanissima vedova e Reggente Teofane e da ultimo anche al nuovo Imperatore Niceforo Foca. Ma la sua devozione si estendeva all'Impero come Sacra Istituzione, alla sua Capitale Costantinopoli, alla Santa Chiesa

Romana e al Suo Patriarca, al Nome di Gesù e a quello della Santa Vergine Maria, al Nome di tutti i Santi e di tutti gli Angeli del Cielo. AI di là di queste devozioni che occupavano la mente e il cuore di Leonzio Manuele anche nella sfortuna, ciò che lo aveva portato ad assumere il gravoso incarico di Maestro delle Polveri e a rassegnarsi alla reclusione perpetua, erano state le vicissitudini che avevano fatto seguito al suo amore deluso per la vita di mare.

Dopo una infanzia vissuta nei quartieri poveri del Porto di Eraclea tra i pescatori e i venditori di pesce salato, tra i commercianti di ogni specie che raccoglievano nei loro magazzini le merci per conto di mercanti veneziani e genovesi, Leonzio Manuele aveva coltivato a lungo il sogno di diventare un giorno Comandante di uno di quei possenti dromoni ancorati nel Corno d'Oro, che vedeva partire da lì per le spedizioni militari nel Mediterraneo all'inseguimento delle navi persiane e dei pirati saraceni.

A sedici anni Leonzio Manuele era riuscito finalmente a imbarcarsi all'ultima ora come marinaio semplice su un dromone che stava salpando con le altre navi alla volta dell'isola di Creta, diventata la base di partenza dei pirati per le loro scorrerie nel Mediterraneo. Leonzio Manuele era un ragazzino entusiasta e inesperto che si esaltava alla vista di quei potenti mostri marini che potevano sputare dalle loro fauci di bronzo quelle terrificanti palle del fuoco greco che avevano distrutto le navi persiane e saracene ogni volta che si erano trovate sotto tiro. Purtroppo la spedizione era destinata a fallire per l'insufficienza dei mezzi di terra trasportati fino al luogo dello sbarco, ma il destino negativo di quella impresa militare doveva coincidere atrocemente con quello del giovane e entusiasta marinaio di Eraclea

Il primo giorno di battaglia, mentre all'alba gli artificieri bizantini stavano caricando i sifoni con i proiettili del fuoco greco da lanciare sulla flotta saracena che si stava avvicinando, il giovane Leonzio Manuele aveva gettato le ultime palate di carbonella dentro la caldaia, poi aveva appoggiato la sinistra su una traversa del dromone per tenere in equilibrio le sue gambe di marinaio novello. Per tutto il seguito degli anni la memoria di Leonzio Manuele ritornò a quel momento fatale, quando un improvviso colpo di vento aveva gonfiato le vele e lo strappo di una sartia gli aveva letteralmente portato via la mano lasciandogli un moncherino sanguinante. Mentre cercava di tamponare il sangue che zampillava dal polso reciso, Leonzio Manuele pianse come un bambino e continuò a piangere fino a quando, insieme alle lacrime, cessò anche il sangue.

Il ritorno in patria di Leonzio Manuele sul dromone in fuga avvenne sotto il segno del pallore e della disperazione. Mentre un compagno spargeva sulla ferita polvere di zolfo per cicatrizzarla, il giovane marinaio, quasi dissanguato e oppresso dalla debolezza, aveva dimenticato il dolore della amputazione ed era sprofondato in una sofferenza cupa e silenziosa perché sapeva che quell'incidente segnava la fine dei suoi sogni marinari, nati sotto cattive stelle come la battaglia che era stata perduta davanti all'isola di Creta.

Ritornato a Costantinopoli, Leonzio Manuele aveva avuto come risarcimento per la mutilazione un impiego nella Farmacia dei Palazzi dove si preparavano gli unguenti, i decotti, le tisane e i profumi ad uso della Famiglia Imperiale e della Corte. Si era fatto eunuco, un'altra amputazione e un altro dolore, perché questa era la condizione per entrare nei ruoli della Farmacia. Dopo un breve apprendistato si era subito distinto nella composizione di nuovi profumi e medicinali e per l'invenzione di fumi colorati che, insieme ai grandiosi fuochi di artificio, avevano entusiasmato la Corte durante la festa dei Brumali e gli avevano valso, qualche anno dopo, il titolo di Nipsistiario che gli consentiva di indossare la tunica di lino e il mantello di seta e di assistere ai bagni della giovanissima Imperatrice Teofane. Ma la sorte negativa sembrava accanirsi contro di lui troncando anche la sua carriera di Profumiere e mettendo in pericolo la sua vita. Una lozione preparata per annerire i capelli biondi della capricciosa figlia illegittima dell'Imperatore Romano II Lecapeno, la bella Gotrida di sedici anni, aveva provocato nella giovinetta una serie di crisi epilettiche e, un mese dopo l'uso del malefico intruglio, ne aveva provocato la morte fra atrocissimi dolori.

La condanna a morte di Leonzio Manuele era la conseguenza inevitabile dell'incidente anche se i maligni bisbigliavano che il veleno era stato aggiunto alla lozione da una donna al servizio di Teofane, gelosa della bella Gotrida. L'intervento inaspettato dell'eunuco Giovanni Bringas aveva ottenuto per il profumiere di Eraclea il raro privilegio di poter scegliere di quale morte morire, e di evitare i procedimenti di tortura che toccavano a chi si fosse macchiato di un delitto su una persona della famiglia o dell'ambito parentale dei regnanti. Leonzio Manuele aveva avuto l'astuzia di scegliere la stessa morte della povera Gotrida: stessa lozione e quindi stesse crisi epilettiche e stessa morte della giovinetta. Dietro suggerimento di Teofane, che voleva smentire le voci che la facevano colpevole del veneficio ma sapeva che la lozione preparata dallo stesso condannato non avrebbe sortito l'effetto che aveva avuto su Gotrida, era stata concessa a Leonzio Manuele la possibilità di avere salva la vita se avesse accettato di sostituire il vecchissimo Maestro delle Polveri nella direzione della Officina il giorno, che non poteva essere lontano, in cui questo sarebbe morto.

Leonzio Manuele aveva esitato prima di accettare la reclusione per il resto dei suoi giorni nella tetra Officina delle Polveri. Poi aveva posto come condizione al suo consenso che venisse praticato attraverso le spesse mura verso Occidente un sottile foro dal quale potesse vedere, dalla sua camera nell'Officina, il tramonto sul Bosforo. Se gli avessero concesso uno spiraglio che gli consentisse di assistere al più bello spettacolo del mondo, Leonzio Manuele si sarebbe ritenuto appagato e avrebbe consentito a servire, sia pure in modo diverso da quello che aveva sperato, la flotta imperiale.

Leonzio Manuele aveva dovuto inoltrare la sua richiesta in forma di supplica scritta indirizzata all'Imperatore come era in obbligo per ogni domanda di grazia. Nella sua lunga supplica Leonzio Manuele aveva raccontato gran parte della sua vita, i desideri marinari della sua infanzia a Eraclea, l'incidente sul dromone durante la battaglia di Creta e la sua delusione disperata, la carriera di Profumiere e i suoi successi, fino all'infausto incidente della lozione e della morte della bella Gotrida. Alla fine della supplica si diceva disposto a farsi rinchiudere nella Officina delle Polveri e a eseguire con diligenza il suo nuovo incarico, ma per questo chiedeva quel sottile foro nella parete verso Occidente.

Pare che il cuore debole di Romano II Lecapeno venisse toccato dalla lettura di quella prosa affettata e patetica. Accettò senza esitare la condizione posta da Leonzio Manuele per quanto i Geometri di Corte gli avessero illustrato le difficoltà di forare quel muro dello spessore di dodici piedi, oltre al resto non costruito con il solito calcare usato a Costantinopoli, ma con massicci blocchi di granito.

Quando gli operai cominciarono i lavori, il vecchio Maestro delle Polveri ancora in carica si era arrampicato faticosamente su una scala a pioli per affacciarsi al finestrino più alto dell'Officina. Si era domandato che cosa mai potesse significare quel martellare dei muratori e degli scalpellini sui blocchi di granito sotto la direzione dei Geometri, che aveva osservato dall'alto mentre calcolavano strane inclinazioni fissate da lunghe pertiche e da cordicelle dirette verso il sole che tramontava. Saggiamente il vecchio Maestro aveva dominato la propria curiosità: la discrezione e il silenzio erano le leggi che governavano l'Officina e lui doveva essere il primo a osservarle.

Il vecchio rimase tranquillo a dirigere i suoi operai ponendo ogni tanto l'orecchio ottuso alla parete dalla quale si sentivano le vibrazioni delle martellate degli scalpellini e il ronzio dei trapani che foravano la dura pietra.

Fedele ai suoi principi e alla sua ormai collaudata vocazione, non aveva comunicato nulla ai suoi operai, che tuttavia avevano cominciato a manifestare qualche inquietudine perché, nonostante la sordità, avevano capito dalle vibrazioni che intorno all'Officina stava succedendo qualcosa di strano.

Quando i lunghi trapani, superata l'ultima barriera di pietra, penetrarono finalmente nella parete occidentale dell'Officina, il vecchio mise l'occhio sul foro per capire che scopo potesse avere quello strano pertugio. Capire, si era detto il vecchio Maestro delle Polveri, non contraddice la regola della discrezione e del silenzio.

Una sera al calar del sole finalmente il vecchio Maestro vide attraverso il foro praticato nella parete il rosso fiammeggiante tramonto sul Bosforo e il sole che lentamente scendeva dietro il minuscolo orizzonte ritagliato nella pietra. Quale significato poteva avere questa immagine? Una figurazione del fuoco infernale? Un segnale della fine? Una estasi di guerra sul mare? No, il sole rosso del tramonto non poteva avere nessuna analogia con i proiettili mortali del fuoco greco. Ma perché traforare con mesi di

lavoro un muro di granito dello spessore di dodici piedi per offrire a un vecchio Maestro delle Polveri l'immagine del sole al tramonto? Il vecchio era un uomo acuto e malizioso. Forse, si disse, quel foro non era destinato a lui ma a qualcun altro. E questo altro chi poteva essere se non il suo successore? E se quel foro laborioso e costoso era destinato al suo successore che cosa ci si aspettava da lui? Non gli rimaneva che togliersi di mezzo al più presto per evitare che lo facesse qualcun altro. Una grande stanchezza e un infinito bisogno di riposo avevano già illanguidito le sue membra e, a tratti, anche la sua mente e il suo cuore perplesso. Fu così che il vecchio Maestro delle Polveri decise di morire: il giorno seguente, in silenzio, serenamente, si distese *sul* lettuccio della sua camera e morì per lasciare il posto al suo successore per il quale era stato praticato quel foro nello spesso muro di granito.

Pare che nella sua funzione di Maestro delle Polveri Leonzio Manuele fosse riuscito a cancellare ogni memoria del passato e addirittura ogni pensiero dalla sua mente. Ma forse proprio per questo l'Officina, nei pochi anni che ebbe a capo il giovane Maestro di Eraclea, funzionò con una puntualità esemplare. Fino a quando una mattina, nell'ora in cui erano soliti riprendere il lavoro, gli operai lo trovarono sgozzato e disteso sul pavimento della sua camera.

La cassetta di ferro dove veniva conservata la pergamena segreta era stata scassinata. Qualcuno era penetrato nella Officina durante la notte, aveva sgozzato il Maestro delle Polveri e trafugato la pergamena che conteneva la formula del fuoco greco. Le tre porte di ferro dell'ingresso non portavano segno di forzatura. L'allarme era stato dato per mezzo di un cencio rosso esposto dagli operai a uno degli alti finestroni del dormitorio.

Una delle sentinelle esterne aveva lasciato subito il suo posto e si era recata di corsa dall'Eteriarca Nimio Niceta per annunciarli che era successo qualcosa di grave dentro l'Officina delle Polveri. L'Eteriarca, prima di informare l'Imperatore, aveva voluto recarsi personalmente nell'Officina per rendersi conto dell'accaduto. Arrivato sul luogo si era affacciato al pertugio che serviva per il rifornimento dei materiali e aveva visto il corpo di Leonzio Manuele con la gola squarciata, adagiato pietosamente su un panchetto dai suoi operai.

Per quanto il delitto e il furto della pergamena fossero di diretta pertinenza dell'Imperatore come tutto ciò che riguardava la formula segreta del fuoco greco, l'Eteriarca aveva preferito seguire la procedura ordinaria e si era rivolto al Kuropalata Leone Foca per informarlo di quanto era accaduto nella Officina delle Polveri.

Il Kuropalata Leone aveva ascoltato attentamente e in silenzio la sua relazione, poi si era assunto personalmente l'incarico di riferire il fatto al fratello Niceforo. Prima di congedarlo aveva domandato all'Eteriarca quali provvedimenti intendesse prendere a carico delle sei sentinelle che si trovavano di guardia all'Officina dalla parte interna del cortile quando era avvenuto il misfatto.

Come intendeva punirle? Avrebbe provveduto immediatamente o avrebbe indetto un regolare processo? E nel caso, preferiva un processo presieduto dall'Eparco o un procedimento rapido e sommario? Non c'era il rischio che qualcuna fra le sentinelle avesse avuto sotto gli occhi la pergamena con la formula segreta? Quest'ultima domanda aveva convinto l'Eteriarca a prendere nei loro confronti il provvedimento estremo per compiacere Leone Foca o meglio per dare esecuzione a quello che riteneva un ordine. Nimio Niceta era ormai abituato alle ambiguità cortigiane delle Alte Gerarchie che, per non comprometersi, davano ordini sotto forma di suggerimenti. Senza perdere tempo aveva fatto decapitare le sei sentinelle nelle prigioni segrete in modo da non dare spettacolo ed evitare commenti e disordini nella Guardia Palatina da cui provenivano. I loro corpi erano stati

avvolti in teli di canapa appesantiti da grosse pietre e poi gettati nel punto più profondo del Mar di Marmara che, ormai noto per questa sinistra consuetudine, veniva evitato dai pescatori per quanto sapessero che in quel tratto i pesci erano più grassi e numerosi che altrove. [...]

Come successore di Leonzio Manuele venne designato, in mancanza di un candidato esterno, il più anziano degli operai. La cerimonia della nomina si svolse, secondo la consuetudine, con la personale partecipazione dell'Imperatore che custodiva, nel forziere della sua camera nel Palazzo Dafne, le chiavi delle tre porte di ferro che erano l'unica via di accesso all'Officina. Niceforo aprì lui stesso le tre pesanti serrature. Quando aprì l'ultima porta si trovò ai piedi il cadavere di Leonzio Manuele che era stato depositato dagli operai sulla soglia avvolto in un lenzuolo di canapa. L'operaio anziano scavalcò il bianco involucro e ricevette dall'Imperatore i tre baci che suggellavano ufficialmente la sua nomina a

Maestro delle Polveri. Poi ritornò dentro l'Officina mentre due guardie caricavano su un carro funebre la salma di Leonzio Manuele per dargli sepoltura nel Mar di Marmara secondo i suoi desideri di marinaio deluso.

L'Imperatore richiuse le tre porte di ferro e applicò lui stesso i sigilli di bronzo con il punzone che avrebbe poi riposto nel forziere insieme alle chiavi. A questo punto risuonarono dall'alto del Palazzo della Magnaura i cinque rintocchi del campanone che arrestarono per qualche istante ogni attività nelle strade, nelle botteghe e nelle case della Capitale.

Da oltre due secoli la nomina del nuovo Maestro delle Polveri avveniva nello stesso modo, con una cerimonia severa, senza concessioni allo spettacolo e seguendo tutte le precauzioni formali che facevano parte di un ordinamento rigoroso che aveva permesso di conservare fino allora il segreto dell'arma più micidiale che possedesse l'Impero di Bisanzio. [..]

«Il Maestro delle Polveri è stato ucciso come sapete ed è stato nominato un successore provvisorio. Non escludo di potervi fare assumere al suo posto.» «E che cosa cambierebbe? Anche nel caso che riusciate a farmi assegnare l'incarico di Maestro delle Polveri, cosa di cui dubito fortemente, io dovrei rassegnarmi alla sepoltura a vita ma voi avreste ben poche possibilità di conservare la testa attaccata al vostro collo. Saprete certamente che si presume sia a conoscenza della formula anche chi abbia avuto un colloquio riservato con qualcuno in grado di comunicargliela a voce. Insomma questa pergamena è più pericolosa delle palle infuocate di cui contiene il segreto di fabbricazione: da quelle ci si può anche salvare o uscirne con qualche bruciatura, ma da questa non c'è possibilità di salvezza. La verità è che siamo dentro la stessa trappola e non vedo quale Santo del Cielo possa fare un miracolo per noi due.» L'Eparco si irrigidì alle parole del prigioniero così male sonanti. Ma non era uomo da rassegnarsi tanto facilmente, anche se per il momento nemmeno lui riusciva a scorgere un orizzonte di salvezza. « Voi siete un militare e dovrete intendervi di tutto ciò che riguarda le armi.» «Il fuoco greco prima di essere un'arma è una composizione infiammabile. Io sono un militare, ma non mi intendo di alchimia. So soltanto quello che fanno tutti, che nella miscela entrano la pece greca, lo zolfo e l'olio nero, ma non può essere così semplice. Qualcuno dice che questi proiettili vengono tenuti insieme da filamenti di canapa, ma il vero segreto pare che sia in qualche sostanza sconosciuta e nelle proporzioni con cui vengono amalgamati i vari elementi.» «Ne sapete già molto più di me.» «Non a sufficienza. Per poter affermare che la formula è falsa pur non conoscendo quella vera, dovrei spiegarne la falsità con argomenti alchemici.»

«Io credo che vi convenga, anzi che ci convenga rischiare. Voi vi fingete esperto alchimista e dichiarate inerte la formula che vi faccio leggere. Che ne dite?»

«Nessuno mi crederà.»

«Si può chiedere una prova sperimentale. Fa parte dei diritti dell'inquisito.»

«In questa situazione i miei diritti sono molto sottili, quasi invisibili.»

«Io sono l'Eparco e una mia richiesta non può cadere nel vuoto.»

«Purtroppo un Eparco che è stato inviato qui per farmi leggere la formula del fuoco greco ha la sua stessa testa in pericolo e non può sperare di venire ascoltato.»

«Non mi pare che abbiamo altra scelta se non di procedere alla lettura, dichiarare che la formula è inerte per ragioni alchemiche, e poi chiedere la prova sperimentale per dimostrare la sua falsità.»

Questionario documento 1

- 1)Traccia un disegno che ricostruisca la collocazione del fuoco greco sulla nave bizantina.
- 2)Descrivi l'Officina delle Polveri nella quale si fabbricavano i proiettili del fuoco greco.
- 3)Chi lavorava nell'Officina delle Polveri?
- 4)Dove era depositata la pergamena con la formula del fuoco greco?
- 5)Per quale motivo Leonzio Manuele diviene Maestro delle Polveri? Quale condizione pone per poter espletare il suo incarico?
- 6)Cosa succede dopo il furto della pergamena?
- 7)Con quale cerimonia viene nominato il successore del Maestro delle Polveri Leonzio Manuele?
- 8)Quale conseguenza comportava la lettura e la divulgazione del contenuto della pergamena?
- 9) Da quali elementi era composto il fuoco greco?

Schede per lo svolgimento dei laboratori.

TITOLO DEL MODULO

Il fuoco greco

U.D.: Dalle armi non convenzionali antiche a quelle moderne.

Laboratorio 3

Competenze e descrittori

- sa ricavare informazioni da vari tipi di documenti;

Documenti

Doc. 1: 'ARMI BATTERIOLOGICHE' a cura di [Martin Fleischfresser](#)

Ampi brani di questo articolo sono ripresi dal libro di Francesco Santoianni: "L'ultima epidemia: le armi batteriologiche. Dalla peste all'AIDS" - Edizioni Cultura della Pace 1991.

Attività 1 e Metodologia 1

Lettura del brano che ricostruisce le caratteristiche delle moderne armi batteriologiche e quali conseguenze potrebbero avere sull'uomo e sull'ambiente. Il testo propone anche un percorso di ricostruzione storica sull'uso di armi non convenzionali nel corso della storia, partendo dalla civiltà antica.

L'insegnante riprende le informazioni più significative, stimola gli studenti a trovare collegamenti tra storia, ambiente e tecnologia.

Attività 2 e Metodologia 2

Dopo un attento esame del brano proposto, l'insegnante propone un questionario relativo agli argomenti trattati

Documenti.

Doc. 1: **ARMI BATTERIOLOGICHE** a cura di [Martin Fleischfresser](#)

Ampi brani di questo articolo sono ripresi dal libro di Francesco Santoianni: "L'ultima epidemia: le armi batteriologiche. Dalla peste all'AIDS" - Edizioni Cultura della Pace 1991.

Più devastanti della bomba atomica, ma silenziose e invisibili fino al momento dell'utilizzo, le armi biologiche incombono sui conflitti armati a cavallo del millennio. Tecnicamente sono realizzabili da uno studente entrato da poco in laboratorio, e costano pochissimo: meno di duemila lire per contaminare un'area di un chilometro quadrato.

Queste pericolosissime armi fanno paura all'intero mondo occidentale perché i sintomi accusati da una popolazione bombardata da agenti batteriologici sono infatti insidiosi e difficili da riconoscere, perché possono facilmente essere confusi con una semplice epidemia di influenza. Altro motivo di paura è la facilità di produzione, oltre a semplici laboratori di ricerca, convertibili in pochissimo tempo; anche semplici stabilimenti per la produzione di particolari mangimi possono rivelarsi pericolosi. Ad esempio una vasca di fermentazione da cinquemila litri utile per la produzione di proteine per l'alimentazione degli animali domestici può essere convertita alla produzione di batteri per le armi chimiche. La vasca di fermentazione in questione è utilizzabile sia per fini civili che per fini bellici: può servire infatti a produrre una proteina monocellulare destinata all'alimentazione degli animali domestici, ma può anche servire per coltivare germi letali per realizzare armi batteriologiche. La paura deriva dal fatto che questa semplice vasca è sufficiente per poter disporre di un arsenale biologico su vasta scala. Gli agenti utilizzati sono per lo più batteri, le cui spore possono essere cosparse in forma di aerosol e contaminare il territorio per chilometri. Molte nazioni però sono riuscite a costruire ordigni anche utilizzando virus, come quelli dell'encefalite equina venezuelana o di Ebola, e parassiti intracellulari obbligati, come per

esempio le rickettsie che provocano la febbre Q. Per alcune di queste infezioni esiste un vaccino, ma nessun politico si assumerebbe la responsabilità di imporlo a un Paese intero, creando panico e isteria collettiva. Tanto più se si considera che i farmaci protettivi non forniscono una immunità totale, spesso provocano effetti collaterali di una certa entità e, naturalmente, ognuno di essi è efficace soltanto contro uno fra le decine di germi che possono essere utilizzati in un attacco. Per il pericolo maggiore, inoltre, non ci sono protezioni, sicure. Si tratta infatti di organismi geneticamente modificati, con la cui infettività l'uomo non si è mai misurato, e su cui, sembra, alcuni Paesi starebbero compiendo ricerche. Molte delle informazioni sulla diffusione delle malattie provocate dalle armi batteriologiche arrivano da incidenti, o da esperimenti effettuati realmente sulla popolazione ignara. Per esempio, nel 1979 un accidentale rilascio del bacillo del carbonchio dall'impianto sovietico di Sverdlosk fornì molte indicazioni utili sulla tossicità del microbo.

Non è difficile: si prendano cinquanta chilogrammi di spore di antrace (ordinabili in un laboratorio specializzato); si porti il tutto su un aeroplano a duemila metri di quota, liberandolo sopra una città di mezzo milione di abitanti. E il gioco è fatto: nel giro di pochi giorni moriranno circa duecentomila persone nel raggio di venti chilometri dall'epicentro della contaminazione. Sulla diffusione di queste epidemie si sa ancora molto poco, e l'imprevedibilità degli effetti, ma più ancora l'impopolarità che si trascina dietro chi utilizza le armi batteriologiche, hanno impedito fino a questo momento un loro massiccio utilizzo nelle azioni di guerra, anche se, come vedremo nella sezione della storia, è esistito un loro uso. La messa al bando delle armi chimiche e biologiche, imposta dal protocollo di Ginevra già nel 1925, non sembra aver scalfito la politica bellica di molti Paesi, che apertamente, o più spesso di nascosto, continuano a studiarle e a fabbricarle.

L'arsenale più fornito è quello degli Stati Uniti che oggi, con una scusa analoga a quella che li portò a costruire e utilizzare su Hiroshima la prima bomba atomica, sventolano lo spauracchio di un possibile attacco terroristico, pericolo peraltro reale, per giustificare la ricerca in questo senso. Per quanto riguarda le due grandi potenze, si sottolinea che la Federazione Russa, pur dichiarando la piena disponibilità a distruggere entro il 2007 il proprio arsenale di 40.000 tonnellate di armi chimiche, ha chiesto aiuto agli altri Paesi ugualmente interessati ad eliminare gli arsenali di armi chimiche dell'ex Unione Sovietica, in quanto non dispone delle risorse finanziarie sufficienti. Gli Stati Uniti per loro conto hanno già effettuato la distruzione di circa 5000 tonnellate di armi chimiche, in gran parte nervini, rispetto alle 35.000 tonnellate di armi chimiche complessivamente dichiarate. La Defense Advanced Research Projects Agency, che negli scorsi decenni ha sviluppato il sistema di comunicazione internet per scopi militari, ha ora in programma un investimento annuo di 350 miliardi di lire per finanziare la ricerca sulla guerra biologica. Ma Clinton è in buona compagnia.

L'Iran e gli stati dell'ex Unione Sovietica infatti possiedono un armamentario altrettanto vario (ma hanno speso una cifra molto inferiore) seguiti da Giappone, Iraq e Israele. Sono inoltre sospettati di avere un programma di ricerca sulle armi biologiche Cina, Taiwan, Corea del Nord, Siria, Egitto e Cuba.

La lista probabilmente è molto più lunga, ma i laboratori in cui si fabbricano gli ordigni sono talmente facili da nascondere che è impossibile stabilire dove e in che misura si portano avanti ricerche di questo tipo. Bastano, infatti, due stanze attrezzate con un sistema di sicurezza analogo a quello che si usa negli ospedali per esaminare campioni infetti. Reagenti, mezzi di coltura, centrifughe, pipette e gli stessi batteri e virus possono essere acquistati direttamente dalle ditte farmaceutiche, perché non sono considerati merce che scotta, e sono utilizzati per scopi ben diversi in tutte le facoltà di biologia. In questo modo, per posta, Saddam Hussein ordinò *Clostridium botulinum*.

COSA SONO. Le armi biologiche contengono organismi virali o batterici, o tossine prodotte da questi. Le tossine sono in genere più letali e ad azione più rapida, in grado di provocare la morte nell'arco di poche ore se non addirittura di minuti. Virus e batteri richiedono invece un periodo di incubazione da un giorno a sei settimane prima della comparsa dei sintomi.

COSA POSSONO PROVOCARE. Gli agenti batterici possono provocare carbonchio, peste polmonare, epidemie fra gli animali. Gli agenti virali possono dare vaiolo, febbre gialla, encefalite equina, influenza. Le tossine possono essere botulino, micotossine e altre.

COME AGISCONO. Anche solo un chilogrammo di agenti batterici può essere più devastante di migliaia di tonnellate di agenti chimici. Per agire, però, la maggior parte degli agenti batterici deve essere inalata o ingerita. Agenti come quello del carbonchio sono in grado di fissarsi nel suolo in forma mortale anche per decenni, ma la maggior parte degli agenti svanisce nel giro di poco tempo.

IL RAGGIO D'AZIONE. In condizioni meteorologiche favorevoli, un missile Scud caricato con tossine di botulino è in grado di contaminare un'area di oltre tremila chilometri quadrati. Il raggio d'azione dipende dal tipo di missile utilizzato per l'attacco e così risulta essere praticamente illimitato. Qualunque missile può essere dotato di agenti patogeni al posto della carica esplosiva. Dai missili da supporto tattico, come gli SCUD, con un medio raggio d'azione ai missili intercontinentali (ICBM), con una portata di circa 10.000 km. La portata dipende dallo sviluppo che ciascun paese ha fatto sui missili, oltre che dal tipo di arma usata per la diffusione, bombe, missili o semplici diffusori a spruzzo.

CENNI STORICI – L'uso di alcune armi non convenzionali si perde nella notte dei tempi, quando l'uomo si accorse per la prima volta degli effetti di taluni veleni già disponibili in natura e pensò di servirsene come arma nel momento in cui se ne fosse presentata la necessità. Di veleni, pozioni e dei relativi antidoti si parla non solo nella mitologia, ma anche nella storia; sin dall'antichità gli uomini avevano compreso il pericolo derivante dall'uso di alcune sostanze tossiche e per questo le hanno sempre abborrite, ma non è confortante riconoscere che il rischio del loro impiego nel tempo purtroppo non è stato definitivamente eliminato. Alcuni millenni prima della nascita di Cristo, esempi di bandi e divieti contro l'uso di sostanze tossiche erano già contenuti in due testi politico-religiosi indiani, quali il Mahabarata e il Ramayana, in cui l'uso dell'arma non convenzionale veniva proibito e condannato in quanto considerato come una offesa al corpo ed all'anima dell'uomo. Cinesi ed Assiri nel primo millennio a.C. erano soliti utilizzare zolfo e petrolio durante le campagne di guerra. Autorevoli fonti storiche dell'antichità, quali Tucidide e Plutarco, riferiscono sull'utilizzazione di fumi di zolfo nella guerra del Peloponneso e di una sospetta epidemia di peste scoppiata nelle pianure della Tessaglia che decimò lo sterminato esercito di Serse; Tito Livio dà notizia dell'impiego, ancora da parte dei greci, di sostanze tossiche durante l'assedio di Ambracia. Anche i Romani fecero ricorso a sostanze tossiche nella seconda metà del I secolo a.c. durante la guerra di Spagna, ma avevano avuto l'accortezza di dotare preventivamente la loro cavalleria di un indumento protettivo per il volto e le vie aeree; tale sistema, adeguatamente perfezionato, molto tempo dopo diventerà l'odierna maschera antigas. Bizantini e Veneziani durante il Medio Evo furono espertissimi nell'utilizzare sostanze tossiche quali il Fuoco Greco ed i Fumi Avvelenati

La guerra batteriologica risale almeno al 1347 quando truppe tartare, impegnate nell'assedio del presidio genovese di Caffa sul Mar Nero, catapultarono all'interno della fortezza cadaveri di appestati. Trasportata dalle navi dei genovesi in fuga, la Morte Nera sbarcò in Europa dove sterminò in appena tre anni 20 milioni di persone. Quattro secoli dopo, la propagazione intenzionale di infezioni sconosciute e quindi micidiali per le popolazioni nemiche costellò l'espansione del colonialismo europeo: nel 1763 Sir Jeffrey Amherst, governatore della "Nova Scotia" diffonde tra i pellerossa coperte infettate di vaiolo.

Più o meno nello stesso periodo gli inglesi mandano tra i Maori (che popolavano allora la Nuova Zelanda) gruppi di prostitute infettate dalla sifilide: ben presto le popolazioni indigene sono sterminate e le loro praterie sono finalmente "terra vergine" per i coloni europei. L'evoluzione più evidente delle armi non convenzionali è però avvenuta nel XX secolo. Il Novecento ha rappresentato il periodo storico in cui la ricerca è progredita maggiormente; sono stati sviluppati vari tipi di aggressivi chimici (Cloro, Iprite, Fosgene) utilizzati in grande scala durante la I Guerra Mondiale. Successivamente sono stati sviluppati nuovi aggressivi chimici come i nervini che hanno un grado di letalità migliaia di volte superiore agli aggressivi chimici tradizionali o di prima generazione, quali i gas soffocanti, i cianuri ed i vescicanti, che ormai vengono presi in considerazione sempre di meno, ma che sono pur tuttavia ritenuti ancora interessanti in associazione con i nervini stessi per potenziarne persistenza ed effetti letali.

Durante la 2^a Guerra Mondiale sono comparsi per la prima volta i temibili effetti dell'arma nucleare; più recentemente sono stati sviluppati nuovi aggressivi biologici come germi, virus, tossine e prioni. La

ricerca, sempre tesa a potenziare gli effetti nocivi delle armi chimiche, biologiche e nucleari, mirando a conseguire sempre maggiori effetti distruttivi, ha di fatto coinvolto sempre di più con i suoi effetti anche la popolazione civile ed è per questa ragione che tali armi vengono ormai considerate armi di distruzione di massa. I gas nervini impiegati anche recentemente con finalità terroristiche nella metropolitana di Tokyo ed i gas tossici impiegati in alcuni conflitti del Medio Oriente sono una dimostrazione degli effetti di un possibile impiego di tali armi; forse dimenticati o comunque poco conosciuti sopravvissuti sono a tutt'oggi in cura per i postumi di una intossicazione che non sarà facile da debellare. Durante la seconda guerra mondiale i giapponesi disseminano in Manciuria, la peste, il colera, la leptospirosi tramite le tonnellate di microrganismi prodotti nella installazione "Unita 731" diretta dal professore Shiro Ishii. Crollato l'Impero del Sol Levante, Ishii (responsabile, tra l'altro della sperimentazione su prigionieri di guerra di armi batteriologiche) non solo non viene condannato come criminale di guerra al Processo di Tokio, ma è invitato negli Stati Uniti a collaborare al funzionamento del più grosso centro di guerra batteriologica americano: Fort Detrick dove, dal 1942 venivano selezionati, prodotti e stivati in bombe o testate missilistiche germi di malattie quali peste, morva, tifo petecchiale, carbonchio...

Come rivelato da documenti solo recentemente declassificati, gli americani già nel 1940 avevano cominciato a sviluppare questo sistema d'arma nella illusione che la produzione industriale della penicillina (uno dei progetti meglio custoditi della seconda guerra mondiale e che impegnò qualche cosa come 7.000 scienziati) avrebbe garantito ad essi l'invulnerabilità contro le armi batteriologiche. Svanito il monopolio della penicillina, gli anni '50 e '60 vedono una frenetica corsa per la produzione di microrganismi sempre più micidiali. Negli USA sorgono ben nove impianti di guerra batteriologica, in Gran Bretagna si costruisce la "fabbrica di microbi" di Porton, stessa cosa viene fatta in URSS sulle coste del Mar Caspio.

Verso la fine degli anni '60, comunque, le armi batteriologiche cominciano ad essere snobbate dai vari Stati Maggiori: le continue ricerche sui microrganismi e sui farmaci avevano finito, infatti, per ridurre a zero i microrganismi "segreti" contro i quali, cioè, il nemico non aveva alcuna difesa. Anche per questo motivo le armi batteriologiche vengono messe al bando con un trattato internazionale siglato nel 1972.

Nonostante questo divieto, verso la metà degli anni '80 la corsa alle armi batteriologiche riprende con vigore, anche se camuffata con l'esigenza di "dotarsi di strumenti di difesa" da attacchi batteriologici. Il perché è da ricercarsi nella manipolazione del DNA, e quindi del patrimonio genetico, che permette di inventare e creare microrganismi assolutamente sconosciuti al nemico ma ben studiati dall'attaccante che può, quindi, vaccinare preventivamente le proprie popolazioni o truppe (o accatastare determinati farmaci), prima di sferrare l'attacco. Spronato dai militari e dalle multinazionali della biotecnologia, le armi batteriologiche, grazie ad un incremento di budget annuale di 900 milioni di dollari, ritrovano il loro posto negli arsenali. Nel maggio 1989, 800 ricercatori americani, tra i quali tre Premi Nobel per la medicina, lanciano un appello "contro questa nuova rovinosa corsa all'arma batteriologica che rischia di mettere a disposizione di qualche terrorista o sanguinario dittatore un arma dotata di una potenza fino a ieri inimmaginabile". Naturalmente l'appello cade nel vuoto e le ricerche per inventare nuovi e più micidiali microrganismi continuano. Nel settembre del 1990 la rivelazione sui mass media: anche Saddam ha l'arma batteriologica.

La notizia (non supportata, comunque, da nessuna inequivocabile prova) determina una nuova corsa alla realizzazione di "vaccini" per proteggersi da nuove armi batteriologiche. Ma per realizzare nuovi vaccini bisogna preventivamente "inventare" nuovi microrganismi patogeni prima che vengano realizzati dal "nemico". E così, mentre le autorità cubane denunciano un attacco biologico contro le loro coltivazioni (che sarebbe stato condotto nel 1997 dagli Americani con la disseminazione, tramite aerei, di un insetto manipolato geneticamente: il Thrips Palmi) i centri di ricerca per la guerra batteriologica (come Edgewood, vicino Baltimora e Fort Detrick, nello Stato del Maryland, forti di un incremento di budget di 200 milioni di dollari ottenuto nel 1998) lavorano alacremente.

Oltre ai pericoli di provocare una pericolosa escalation, i rischi di questa nuova corsa alle armi batteriologiche sono enormi. Ad esempio un incidente di laboratorio. Il più grave si è verificato in Inghilterra il 3 agosto 1962 quando il dottor George Bacon, morì a casa sua di peste polmonare che aveva contratto nei laboratori del Centro Microbiologico Militare di Porton Down, dove lavorava come

biologo. Il giorno dopo, l'anonima faccia di questo scienziato si conquistava la prima pagina di tutti i quotidiani, e subito le autorità inglesi intraprendevano una spasmodica ricerca per identificare, isolare e vaccinare tutti coloro che erano stati a contatto con Bacon. La caccia all'uomo assunse toni da thriller: due ragazze di 9 e 15 anni, Katrin ed Elizabeth Larid, nipoti di Bacon, il 31 luglio si erano recate a casa dello zio per salutarlo prima della loro partenza per la base RAF di El-Adn, in Libia, dove il padre prestava servizio in qualità di ufficiale meteorologico. Dopo una frenetica ricerca, furono rintracciate e, insieme a tutti i componenti della base furono messe in quarantena. Se la peste si fosse propagata in Libia, in assenza di un efficiente servizio sanitario si sarebbe certamente trasformata in una gravissima epidemia. Come dichiarerà un anno dopo la commissione d'inchiesta nominata dal Parlamento inglese, averla evitata fu "un vero miracolo". Tra i casi ancora aperti di situazioni derivanti dalla guerra chimica moderna, che certamente non mancheranno di sollevare altri interrogativi anche sul piano etico, si può annoverare anche l'interesse dei militari coinvolti, che avrebbe steso i suoi effetti anche sulla loro prole. A questo punto viene da chiedersi perché sia stata permessa la ricerca, lo sviluppo e l'impiego di queste armi non convenzionali e se sia stato valutato adeguatamente il rischio connesso al loro impiego. Non basta affermare che questo rientra nelle normali regole del gioco, chiamando in causa l'eterno dualismo tra il bene e il male insito nelle cose, né parimenti possiamo attribuire paradossalmente alla ricerca scientifica la colpa di essersi spinta troppo in avanti in questi settori. In realtà l'umanità è molto debitrice a chimica, biologia e fisica, dal momento che l'evoluzione di queste scienze, quando correttamente indirizzata, ha permesso di spaziare in moltissimi settori e fare scoperte che hanno sensibilmente migliorato le condizioni di vita del genere umano. Purtroppo però, per contro, la ricerca e gli studi sulle armi non convenzionali non hanno mai subito battute di arresto. Negli anni Cinquanta l'attenzione mondiale era calamitata dal pericolo nucleare i cui primi effetti si erano palesati per la prima volta a Hiroshima e Nagasaki; la successiva situazione di stallo del nucleare degli anni 60 derivante dalla percezione comune di un possibile olocausto ha probabilmente determinato la rivitalizzazione delle altre armi di distruzione di massa come armi chimiche e biologiche. Da allora, ed all'insegna di una logica tesa a considerare l'arma chimica e biologica quali armi di distruzione di massa estremamente efficaci ed idonee a porsi come alternativa all'impiego del nucleare, tali armi vennero definite le atomiche dei poveri, proprio per la facilità con cui potevano essere prodotte ed impiegate. Esistono altre storie che l'uomo non sa, ma hanno messo in pericolo l'esistenza della vita, storie di trasporti pericolosi e di esperimenti incontrollati.

Il caso dell'isola di Gruinard

Alla fine degli anni ottanta apparve su Nature un trafiletto dal titolo Gruinard handed back, in cui si raccontava in breve il caso dell'isola di Gruinard, sul cui territorio fu sperimentata la resistenza delle spore dell'antrace all'esplosione e agli agenti atmosferici., nell'ambito di un programma di ricerca per lo sviluppo di armi biologiche da parte dei 3 governi del Regno Unito, Canada e Stati Uniti d'America.

L'antrace o carbonchio e' una malattia degli erbivori causata dal Bacillus anthracis, che si trasmette anche all'uomo. La malattia assume nell'uomo diverse forme cliniche a seconda delle modalità di trasmissione. Nella trasmissione da contatto si manifesta in una delle forme più lievi con delle pustole carbonchiose da cui è originato il nome della malattia, mentre quando viene assunto per via inalatoria dà luogo al carbonchio polmonare, che è letale.

Nel corso della seconda guerra mondiale l'isola di Gruinard fu evacuata, versando come indennizzo agli abitanti 500 sterline.

Bombe contenenti spore di antrace furono fatte esplodere sull'isola nel 1942 e 1943. Come previsto le spore si dimostrarono in grado di resistere ad esplosioni e fino agli anni ottanta furono ancora rinvenute spore vitali sul territorio dell'isola.

Per eliminare del tutto le spore fu necessario ricorrere ad una drastica operazione di bonifica, ottenuta spargendo una soluzione di formaldeide in acqua di mare su tutta l'isola. Infine nel 1988 dopo ulteriori analisi e controlli, ma soprattutto dopo che un branco di pecore vi aveva pascolato per mesi senza contrarre la malattia, il governo inglese aveva potuto dichiarare che l'isola era sicura e non più infestata dalle spore dell'antrace. Agli antichi abitanti e proprietari dell'isola fu data quindi la possibilità di tornare

sull'isola e riprendere possesso delle proprie terre, dopo aver restituito al governo le 500 sterline versate loro al momento dell'evacuazione dell'isola.

La storia dell'isola di Gruinard ci pone di fronte a tutti i principali problemi che anche soltanto la sperimentazione di armi biologiche da parte dei governi sui propri territori comporta: in primo luogo l'imprevedibilità e la difficoltà di poter valutare con un sufficiente margine di sicurezza gli effetti che lo spargimento di organismi patogeni può avere sull'ambiente, nonché i rischi che potrebbero derivare dalla perdita di controllo sugli agenti infettivi e quindi dal diffondersi di epidemie tra i civili.

L'isola dei veleni

La sconvolgente scoperta di enormi scorte di batteri e virus tuttora letali, nascoste su di un'isola nel Mare di Aral dalle autorità sovietiche, dopo il bando internazionale sulle armi batteriologiche.

Nella primavera del 1988 i batteriologi russi di un laboratorio della città di Sverdlovsk, 1.360 Km. a est di Mosca, ricevettero l'ordine di intraprendere la loro missione più difficile. In gran fretta e totale segretezza trasferirono entro giganteschi barili di acciaio inossidabile centinaia di tonnellate di batteri di antrace - sufficienti a distruggere più volte l'intera Umanità - li ricoprirono di candeggina per decontaminare la mortale polvere rosa, li caricarono su di un treno e li spedirono illegalmente attraverso la Russia ed il Kazakistan a più di 1.600 Km. di distanza, verso la remota isola nel cuore del Mare interno d'Aral. Qui i soldati russi scavarono degli enormi pozzi e vi versarono la poltiglia letale, seppellendo i batteri e - così sperava Mosca - una grave minaccia politica. Mentre Mikhail Gorbaciov sosteneva la sua campagna per la glasnost e la perestroika e si occupava di consolidare i legami con l'Occidente, i servizi segreti USA rivelavano che l'Unione Sovietica, contrariamente agli impegni sottoscritti nei trattati, continuava a produrre tonnellate di germi letali da usare come armi batteriologiche, sebbene fossero state bandite a livello mondiale. Scienziati russi, coinvolti nel programma, affermano che le scorte dovevano venire distrutte se gli Stati Uniti e la Gran Bretagna avessero richiesto un'ispezione. Usare l'isola di Vozrozhdeniye (in russo, isola della Rinascita) quale discarica segreta era una scelta ovvia: fino al 1992, quando l'esercito abbandonò definitivamente la zona, essa era stata la più importante area di sperimentazione a cielo aperto dell'Unione Sovietica. Oggi l'isola, che appartiene giuridicamente alle ex-repubbliche sovietiche dell'Uzbekistan e del Kazakistan, è il più grande luogo di sepoltura dell'antrace nel mondo. Pozzi letali. Paradossalmente, per i servizi segreti americani si tratta di una vera miniera d'oro. Esperti e scienziati dell'esercito sono stati invitati segretamente dai governi delle due repubbliche interessate a recarsi sull'isola più volte, negli ultimi quattro anni, per ispezionarla e per raccogliere campioni dei batteri sepolti. Secondo i consulenti, quello che hanno scoperto è sbalorditivo. I test, effettuati sui campioni di terreno raccolti da sei degli undici grandi pozzi di sepoltura dimostrano che, sebbene i batteri siano stati immersi nella candeggina almeno due volte, prima nei barili da 250 litri e poi nei pozzi sabbiosi in cui sono rimasti per circa dieci anni, alcune spore sono ancora vive e potenzialmente letali. Sia l'Uzbekistan che il Kazakistan hanno siglato il bando alle armi di distruzione di massa ed hanno entrambi richiesto l'aiuto degli Stati Uniti per accertare l'entità di questo terribile lascito del regime sovietico e per decontaminare l'intera area.

I batteri più pericolosi e conosciuti

L'agente del carbonchio. Le spore (sono strutture prodotte dai batteri in caso di variazione ambientale e sopraggiungere di condizioni sfavorevoli per la vita. Queste strutture sono molto resistenti a calore, radiazioni, pH estremi, ecc., e contengono il DNA del microrganismo. Quando le condizioni ambientali tornano favorevoli le spore ridiventano batteri viventi) vengono respirate e si fissano nei polmoni, dove si moltiplicano rapidamente producendo tossine che si diffondono in tutto il corpo attraverso i vasi sanguigni. Un miliardesimo di grammo è in grado di provocare la morte di una persona. **Sintomi:** simili a quelli dell'influenza, con febbre alta fino al collasso.

Prevenzione: maschera antigas, vaccino.

L'agente del botulino. Le vittime inalano le tossine (Endotossine: sostanze con azione nociva, propria dei batteri Gram-, che vengono liberate dalla lisi del corpo batterico e dalla disgregazione della

membrana esterna oppure Esotossine: sostanze con azione nociva, propria dei batteri Gram+, che vengono liberate all'esterno del corpo batterico; sono in genere delle proteine o glicoproteine)liberate nell'aria, che dai polmoni si moltiplicano e avvelenano l'intero organismo, fino a giungere alla paralisi e all'arresto cardiaco. Un miliardesimo di grammo può uccidere un uomo.

Sintomi: capogiri, mal di gola, secchezza della bocca.

Prevenzione: maschera antigas, vaccino.

Per quanto riguarda gli agenti batterici non esistono soltanto carbonchio e botulino, nella tabella che segue sono riportati i più pericolosi, la dose letale e i giorni di incubazione.

agente	dose infettante	incubazione (giorni)	vaccino
carbonchio	8.000-50.000 spore	1-5	disponibile
brucellosi	10-100 organismi	5-60 (a volte mesi)	non disponibile
peste	100-500 organismi	2-3	disponibile ma non efficace
febbre Q	1-10 organismi	10-40	allo studio
tularemia	10-50 organismi	2-10	allo studio
vaiolo	10-100 organismi	7-17	disponibile
encefalite virale	10-100 organismi	encefalite equina venezuelana 2-6 encefalite equina orientale ed encefalite equina occidentale 7-14	allo studio
febbre emorragica virale	1-10 organismi	4-21	allo studio
botulino	0,001 microg/kg (tipo A)	1-5	allo studio
enterotossina stafilococcica	30 ng (incapacitante); 1,7 ng (letale)	1-6 ore	non disponibile

Grazie all' ingegneria genetica e alle mutazioni possibili grazie ad essa qualunque paese sarebbe in grado di produrre un nuovo batterio o virus quasi devastante e inarrestabile, essendo solo lui il conoscitore del vaccino. Questo ha dato nuova spinta alla ricerca.

I derivati del gas nervino

Sarin. Una volta inalato, questo particolare gas nervino paralizza il sistema nervoso e provoca la contrazione del diaframma finché la vittima muore per soffocamento. Per uccidere una persona occorre un milligrammo di prodotto. Saddam ha già usato il sarin sui Curdi negli anni Ottanta.

Sintomi: in piccole dosi, provoca violenti mal di testa e tosse; in dosi maggiori dà aumento della sudorazione, nausea, vomito, diarrea e difficoltà respiratorie.

Prevenzione: maschera antigas.

Iprite. Inalando i vapori del cosiddetto "gas mostarda", sulla pelle della vittima compaiono vesciche dolorose che rapidamente ricoprono tutto il corpo, e alla fine può dare la cecità. Per uccidere una persona ne occorrono dieci milligrammi. Anche l'iprite è già stata usata dagli iracheni nella guerra contro l'Iran.

Sintomi: questa sostanza non causa effetti immediati. I sindromi generalmente iniziano ad apparire in circa 4 ore; la quantità di tempo dipende dalla quantità impiegata. L'esposizione all'agente liquido puro causa prurito, bruciore, e infiammazioni delle zone colpite, seguite da gonfiore. Dopo 20-24 ore cominciano a formarsi delle vesciche attorno all'area colpita. Poi le vesciche formate si riempiono di un

liquido che può essere incolore o giallo. Le vesciche, vulnerabili alle infezioni, causano gravi degenerazioni ai tessuti; il ferito può impiegare mesi a guarire. L'inalazione causa un edema polmonare. Da esperienze militari e incidenti la dose letale media stimata di 1,500 g min m⁻³ (50 mg m⁻³ per 30 min) per inalazione e 10,000 mg min m⁻³ (50 mg m⁻³ per 200 min) per contatto cutaneo. L'LD50 per l'iprite liquida per un uomo di 70 kg h di 7.0 g (100 mg kg⁻¹).

Prevenzione: maschera antigas.

Lewisite. Altro derivato dai gas nervini, attacca insinuandosi nei polmoni o attraverso l'assorbimento della cute. La lewisite ha effetti vescicanti a causa dell'inibizione dell'ossidazione dell'acido piruvico. Si diffonde attraverso la pelle più rapidamente dell'iprite, e i sintomi appaiono subito. La guarigione però avviene più rapidamente e ci sono meno rischi di infezioni secondarie.

Sintomi: L'esposizione cutanea a 0.2 mg cm⁻² causa la formazione di vesciche e l'LC50 di 1.200-1.500 mg min m³ per inalazione o 100.000 mg min m³ per esposizione cutanea. I prodotti immediati dell'idrolisi della lewisite, Cl-CH=CH-As(OH)₂ e Cl-CH=CH-As=O sono altrettanto vescicanti. E' molto probabile che i prodotti della lewisite siano responsabili dell'ossidazione dell'acido piruvico in vivo. La lewisite e i suoi prodotti producono vari tipi di arsenico.

Prevenzione: gli effetti della lewisite possono essere prevenuti mediante l'applicazione di 2,3-dimercaptopropanol, conosciuto come British anti-Lewisite (BAL), per prevenire la contaminazione: maschera antigas e la copertura della superficie della pelle con vestiti pesanti.

VX. L'ultima generazione di gas nervino, ancora mai usato in guerra. Simile al sarin, in grado di sconvolgere le funzioni nervose che controllano la respirazione. La vittima muore per soffocamento. Diversamente dalle altre armi chimiche o batteriologiche, il VX può uccidere anche solo venendo a contatto con la pelle, senza bisogno che venga inalato o ingerito. Ne basta un solo milligrammo.

Sintomi: aumento della salivazione, tosse, naso che cola, mal di testa, nausea.

Prevenzione: maschera antigas, pelle coperta da indumenti spessi.

Come avviene l'avvelenamento da gas nervini e i sintomi specifici

I gas nervini (GA,GB,GD e VX) sono tutti potenti inibitori dell'enzima colinesterasi, che idrolizza il neurotrasmettitore acetilcolina. Quando la colinesterasi è inibita, l'acetilcolina ostruisce le giunzioni tra i neuroni, prevenendo la trasmissione di segnali. I sintomi di avvelenamento sono:

- sangue da naso
- fitte al torace
- indebolimento della vista
- restringimento delle pupille
- eccessiva sudorazione
- defecazione e minzione involontaria
- contrazioni, convulsioni e barcollamento
- mal di testa
- sonnolenza
- interruzione del respiro e morte

Antidoti

Gli effetti dei gas nervini possono essere mitigati con l'uso di antidoti. Questi antidoti sono: un ossido, come l'obidoxim, che reagisce con la colinesterasi inibita per rimuovere gli agenti nervini residui e rigenerando l'enzima. L'esposizione al Soman è più difficile da trattare perché l'enzima inibito produce una nuova reazione chimica che rende il trattamento inoffensivo.

L'atropina, che tratta i sintomi dell'esposizione ad agenti nervini. Quando la colinesterasi è inibita, il blocco dell'acetilcolina lascia la sinapsi permanentemente "accesa". L'atropina lega i recettori dell'acetilcolina e li "spegne". Il personale militare e civile che maneggia questi materiali è spesso equipaggiato con kits di antidoti che comprendono autoiniettori contenenti un ossido e atropina. In più

individui a rischio di esposizione ad agenti nervini possono prendere fisostigmina (o prodotti omologhi), un carbamate. Pure i carbamati inibiscono l'acetilcolina; l'enzima inibito dalla fisostigmina non reagisce con gli agenti nervini. La dose deve produrre una mezza inibizione che ha piccoli effetti sulle funzioni nervose perchè la colinesterasi è presente in grande eccesso. La colinesterasi inibita dalla fisostigmina idrolizza lentamente e continuamente, rilasciando l'acetilcolina e mantenendo un livello di enzimi tale da permettere gli scambi nervosi.

La sperimentazione su alcuni gas derivati dal gas nervino

Tabun (GA)

La dose di GA che ha causato la morte del 50% degli animali in un test (LD50) è di 0.6 mg kg-1 (intraperitoneale) per topi e 0.12 mg kg-1 per le cavie. La concentrazione di GA che ha causato la morte del 50% degli animali in un test (LCt50) è di 960 mg min m-3 per i conigli. La dose letale per gli uomini può essere di circa 0.01 mg kg-1

Sarin (GB)

La dose di GB che causa la morte del 50% degli animali in un test (LD50) è di 0.42 mg kg-1 (intraperitoneale) per i topi, di 0.030 mg kg-1 (sottocutaneo) per i conigli e di 0.0385 mg kg-1 (sottocutaneo) per le cavie. Il LD50 di GB liquido per un uomo di 70 kg è riportato come 1.7g (24 mg kg-1)

Soman (GD)

La dose di GD che causa la morte del 50% degli animali in un test (LD50) è di 0.62 mg kg-1 (intraperitoneale) e di 7.8 mg kg-1 attraverso la cute per i topi, 0.0213 mg kg-1 (sottocutaneo) per i conigli e di 0.00245 mg kg-1 (sottocutaneo) per le cavie. Il LD50 nella pelle nuda per un uomo di 70 kg è stimato in 2.2 g (5 mg kg-1).

Vx

Il LD50 è di 0.0154 mg kg-1 (sottocutaneo) per i conigli, 0.008 mg kg-1 (endovenosa) per i conigli e 0.0084 mg kg-1 per le cavie. Il LD50 per un uomo di 70 kg è stimato in 10 mg (0.14 mg kg-1). Il prodotto dell'idrolisi EA 2192 è tossico come lo stesso VX (LD50 di 0.017 mg kg-1 intravenoso per i conigli comparato al 0.008 del VX). In condizioni simili (220C, pH 13-14), l'EA 2192 ha una vita media di idrolisi 3.700 volte più grande del VX.

PRECURSORE	UTILIZZI CIVILI	ARMIE CHIMICHE
Tricloruro di fosforo	Sintesi organica	SOMAN (GD)
	Insetticidi	TABUN (GA)
	Additivi petroliferi	SARIN (GB)
	Plastificanti	VG
	Sintesi di tensioattivi	GF
	Catalizzatori	
	Coloranti	
Fosfito di trimetile	Sintesi organica	Produzione di Dimetile
Fosfito di dimetile	Sintesi organica	SARIN
	Additivi per lubrificanti	SOMAN
		GF
Ossicloruro di fosforo	Sintesi organica	TABUN(GA)
	Plastificanti	
	Additivi petroliferi	
	Insetticidi	
	Ritardanti di fiamma	
Tiodiglicole	Sintesi organica	Mostarde allo zolfo e

	Additivi per lubrificanti	vescicanti	
	Materiali plastici		
Fluoruro di potassio	Fluorurazione comp. organici	SARIN	(GB)
	Sterilizzazione alimenti	SOMAN	(GD)
	Produzione vetro e porcellana	GF	
Dimetilammina	Sintesi organica	TABUN	
	Industria farmaceutica		
	Detergenti		
	Pesticidi		
	Additivi petroliferi		
	Combustibile per missili		
Trietanolammina	Sintesi organica	Mostarde all'azoto	
	Detergenti		
	Cosmetica		
	Anticorrosivi		
	Plastificanti		
	Vulcanizzazione		
Fluoruro di idrogeno	Fluorizzazione in reazioni chimiche	SARIN	(GB)
		SOMAN	(GD)
	Catalizzatore in reazioni di polimerizzazione	GF	
	Additivi combustibili per missili		
	Processamento uranio		
Tricloruro di arsenico	Sintesi organica	Arsine	
	Industria farmaceutica	Lewisite	
	Insetticidi	Adamsite	
	Produzione ceramiche		
Bifluoruro di potassio	Produzione di fluoruro	SARIN	(GB)
	Catalizzatore di alchilazione	SOMAN	
	Trattamento del carbone	GF	
	Saldatura dell'argento		
Bifluoruro di ammonio	Produzione ceramiche	SOMAN	
	Sterilizzatore per app. alimentari	GB	
	Elettroplaccatura		
	Incisione del vetro		
Cianuro di sodio	Estrazione oro e argento	GA	
	Fumiganti	Prod. cianuro di sodio	
Solfuro di sodio	Concia delle pelli	Prod. di precursori	

Questionario documento 1

- 1) Perché le moderne armi batteriologiche generano terrore?
- 2) Quale Stato possiede l'arsenale più fornito di armi batteriologiche?
- 3) Cosa contengono le armi batteriologiche? Come agiscono e quali conseguenze possono determinare?

4)Riepiloga l'evoluzione delle armi non convenzionali partendo dalle civiltà antiche fino ai giorni nostri.

5)Quali sono i batteri più pericolosi fra quelli conosciuti?