POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Riuso del patrimonio oversize. Un progetto adattivo per la Cittadella di Alessandria // Oversized heritage reuse. An adaptive project for the Citadel of Alessandria

Original
Riuso del patrimonio oversize. Un progetto adattivo per la Cittadella di Alessandria // Oversized heritage reuse. An adaptive project for the Citadel of Alessandria / Vigliocco, Elena. - STAMPA. - (2021), pp. 1-201.

Availability:
This version is available at: 11583/2934520 since: 2021-10-28T11:30:48Z

Publisher:
Politecnico di Torino

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

12 October 2024

approfondimenti /
/ insights

"Il lavoro della ricerca scientifica è qui inteso come una rete intricata di attività pratiche che fanno presa sul mondo, e non come la creazione di una serie di assunti teorici verificati con la semplice osservazione."

S. Schaffer, *La fabrique des sciences modernes*, Parigi 2014.

L'elaborazione di una strategia adattiva volta alla preservazione della Cittadella di Alessandria impone il convolgimento di discipline scientifiche che, ciascuna all'interno del suo specifico ambito, possano contibuire a implementare la conoscenza di questo sistema complesso e articolato. Lo studio della storia, dell'uso delle tecniche costruttive e dei materiali così come lo sviluppo delle indagini non invasive condotte con il georadar, permettono di svelare realtà inattese e capaci di introdurre verso ulteriori livelli di approfondimento /

/ The development of an adaptive strategy aimed at preserving the Citadel of Alexandria requires the involvement of scientific disciplines that can contribute to implementing the knowledge of this complex and articulated system. The history of the construction, the materials and techniques analysis as well as the development of non-invasive investigations conducted with the georadar, allow us to reveal unexpected elements capable of introducing towards further levels of deepening.

l'architettura parlante di una fortezza settecentesca / / the architecture parlante *of an18th-century fort*

Edifici tutti di bella costruzione e voltati alla prova, che svelano in ogni loro aspetto le attenzioni e la spesa che i Re di Sardegna avevano prodigato nelle fortificazioni - il solo modo che restava loro per ristabilire l'equilibrio di potenza.[1]

"Bella costruzione", "severo ed imponente stile", "eleganza", "euritmia"[2]: nelle parole dei viaggiatori sette- e ottocenteschi si legge, di tanto in tanto, oltre all'apprezzamento, un certo stupore per la qualità dei grandi edifici che si affacciano sulla piazza d'armi della Cittadella.
Il potere dello Stato di antico regime e la sua ambizione di controllare lo spazio, in effetti, si manifestano con grande evidenza nelle architetture della Cittadella, con risultati che travalicano i requisiti 'ordinari' e i significati simbolici tipici di una costruzione militare.
La regolarità, la qualità dei materiali messi in opera, la chiarezza distributiva e costruttiva sono effetti visibili delle imponenti risorse economiche e progettuali investite nel cantiere alessandrino lungo tutto il XVIII secolo, e di una unità di intenti la cui ragion d'essere è politica, oltre che tecnica. Anche se sappiamo che questa unità non va idealizzata, e che alla coerenza del risultato vanno opposti i conflitti, le imperfezioni e gli incidenti di percorso, è indiscutibile che ad Alessandria per circa un secolo si sia tentato di inserire ogni nuovo intervento all'interno di una visione d'insieme, via via aggiornata, fondata su programmi di costruzione razionali e guidata da un'estetica severa, oltre che da un implicito rapporto con la vicina città.
È quindi riduttivo considerare gli edifici intorno alla piazza d'armi esclusivamente alla luce della loro efficienza funzionale. La disposizione dei volumi e i severi ed espressivi linguaggi della decorazione invitano, piuttosto, a collocare la piazza d'armi e le sue fabbriche a fianco di altre architetture settecentesche, in cui concreti obiettivi militari o produttivi si sono sposati con le forme e i significati propri dell'architettura pubblica. Le *Royal Barracks* di Dublino, le

/ Buildings all beautifully constructed and with bomb-proof vaults, revealing in every aspect the care and expense that the Kings of Sardinia lavished on fortifications - the only way left for them to restore the balance of power.[1]

"Beautiful construction", "severe and imposing style", "elegance", "eurythmy"[2]: in the words of eighteenth- and nineteenth-century travellers one occasionally reads, in addition to appreciation, a certain amazement at the quality of the large buildings overlooking the Cittadella's parade ground. The power of the *ancien régime* State and its ambition to control space are indeed very evident in the Cittadella's architecture, with results that go beyond the 'ordinary' requirements and symbolic meanings typical of a military construction.
The regularity, the quality of the materials used, the clarity of distribution and construction are visible effects of the huge economic and design resources invested in the Alessandria building site throughout the 18th century, and of a unity of purpose whose *raison d'être* is political as well as technical. Although we know that this unity should not be idealised, and that the coherence of the result stands opposed to the conflicts, imperfections and incidents encountered along the way, it is indisputable that in Alessandria, for about a century, attempts were made to place each new design within an overall vision. This vision was gradually updated, based on rational construction programmes and guided by a severe aesthetic, as well as by an implicit relationship with the nearby city.
It is therefore reductive to consider the buildings around the parade ground solely in light of their functional efficiency. The arrangement of the buildings and the severe and expressive language of the decoration invite us, rather, to place the parade ground and its buildings alongside other 18th-century architecture, in which concrete military or production objectives were combined with the forms and meanings of public architecture. The Royal Barracks in Dublin, the

urbanizzazioni della *demi-couronne de Moselle* a Metz e dell'*Enclos* di Lorient (sede della compagnia delle Indie orientali) o le saline di Arc-et-Senans sono alcuni esempi che si potrebbero affiancare alla piazza d'armi alessandrina: esempi di come un'architettura del potere costituito poteva riflettere i modi di funzionamento dello stato del Settecento ma anche contribuire alle retoriche che lo sostenevano. Edifici parlanti, quindi, portatori di messaggi mutevoli a seconda delle circostanze e del punto di vista dell'osservatore (civile o militare, cittadino o forestiero). Come ricorda lo storico Paul Hirst, «la guerra è anche simbolica, e i simboli incidono sulla capacità di soldati e civili di combattere »; e così una fortezza non è soltanto una macchina, ma un luogo, dove i simboli dello stato moderno si intrecciano, alternando minacce e promesse, in pace e in guerra.
Quella di Alessandria, dunque, non è un'architettura della semplificazione, e non possiamo guardare ad essa soltanto come a un memoriale di fatti d'arme, bandiere, cannoni e carceri. Gli edifici tronco-conici, accuratamente costruiti e sinteticamente decorati, sono portatori di un messaggio proprio; rispondono a precise necessità del proprio tempo, segnato dalla crescente importanza delle infrastrutture militari, ma si basano anche su gerarchie di valori complesse e complementari a quelle che regolano l'architettura civile della città oltre il Tanaro. Del resto, la fortezza settecentesca non può in nessun modo essere pensata senza la sua controparte urbana. Si continua oggi a discutere del rapporto conflittuale tra Alessandria e la 'sua' cittadella. Non è questo il luogo per esprimere un giudizio ma per quanto riguarda il Settecento, va ricordato che tale rapporto non è stato soltanto di opposizione, e che le due entità hanno formato fin dalle origini un insieme bipolare, segnato da rapporti dinamici e negoziabili.

urbanisations of the *demi-couronne de Moselle* in Metz and the *Enclos* in Lorient (headquarters of the East India Company) or the saltworks in Arc-et-Senans are some examples that could be placed alongside Alessandria's parade ground. These offer examples of how an architecture of constituted power could reflect the ways in which the state functioned in the 18th century, but also contribute to the rhetoric that supported it. These therefore become 'talking' buildings, carrying messages that change according to the circumstances and the point of view of the observer (civilian or military, citizen or stranger). As the historian Paul Hirst reminds us, 'war is also symbolic, and symbols affect the ability of soldiers and civilians to fight'; and so, a fort is not just a machine, but a place where the symbols of the modern state intertwine, alternating between threats and promises, in peace and war.
The architecture of Alessandria is not, therefore, an architecture of simplification, and we cannot look at it only as a memorial of deeds of arms, flags, cannons and prisons. The carefully constructed and synthetically decorated truncated-cone buildings carry a message of their own. They respond to the precise needs of their time, marked by the growing importance of military infrastructure, but are also based on complex hierarchies of values that are complementary to those governing the civil architecture of the city. After all, the eighteenth-century fort can in no way be thought of without its urban counterpart. The conflictual relationship between Alessandria and 'its' citadel continues to be discussed today. This is not the place to pass judgement, but as far as the eighteenth century is concerned, it is worth remembering that this relationship was not only one of opposition, and that from the outset the two entities formed a bipolar whole, marked by dynamic and negotiable relationships.

Il tempo degli ingegneri

La vera potenza di un principe non risiede tanto nella facilità ch'egli ha di fare delle conquiste, ma nella difficoltà che si ha ad attaccarlo (…) *ma l'ingrandimento degli Stati fa sì ch'essi mostrino nuovi lati da dove possono essere conquistati.*

Una nuova malattia si è diffusa in Europa: essa ha colpito i nostri principi, e fa sì che tengano in servizio un numero esagerato di truppe.

(Montesquieu, *Lo spirito delle leggi*, 1748, ed. it. a c. di S. Cotta, 1996)

Il cantiere della nuova Cittadella si sviluppa in modo graduale e in un tempo lungo, e fin dal suo avvio nel 1731-1732 è caratterizzato da sfide, che solo lo strutturato stato amministrativo settecentesco può disporsi ad affrontare. L'Agenzia di fabbriche e fortificazioni, ente preposto alla gestione delle opere militari e civili dello Stato sabaudo, da poco ampliato con i territori orientali di 'nuovo acquisto', si è trovata a coordinare un'attività progettuale e logistica a grandissima scala. La produzione di decine di milioni di mattoni, l'approvvigionamento di quantità impressionanti di legna (per i forni e per le palificate di fondazione), persino la precettazione di centinaia mastri muratori poco propensi a lasciare le proprie zone abituali di lavoro, hanno segnato i primi, intensi decenni di operazioni ad Alessandria. Un primo progetto "urbanistico", di disposizione di nuovi corpi di fabbrica, tra cui caserme, armerie, edifici di comando, è forse esistito fin da questa fase, anche se per una quindicina d'anni dall'avvio dei lavori all'interno del perimetro si è costruito molto poco, dato che quasi tutte le energie e le risorse furono assorbite dalle demolizioni di parte delle preesistenze e dalla costruzione del sistema fortificato esterno. I lavori all'interno prenderanno slancio dopo la pace di Acquisgrana, del 1748, ed è da questa data, che s'inaugura un periodo segnato dalla costruzione delle grandi fabbriche in muratura, adatte a resistere ai bombardamenti,

A time for engineers

The true power of a prince does not lie so much in the ease with which he can conquer, but in the difficulty of attacking him (…), *yet the enlargement of states causes them to show new sides from which they may be conquered.*

A new disease has spread through Europe: it has affected our princes, and causes them to keep an exaggerated number of troops on duty.

(Montesquieu, *The spirit of the Laws*, 1748)

The construction of the new Citadel developed gradually and over a long period of time, and from its inception in 1731-1732, it was characterised by challenges that only the structured eighteenth-century administrative state could face. The Agenzia di fabbriche e fortificazioni (Agency for Buildings and Fortifications), the body responsible for managing the military and civil works of the Savoy State, which had recently been enlarged to include the 'newly acquired' eastern territories, found itself coordinating a very large-scale logistical project. The production of tens of millions of bricks, the supply of impressive quantities of wood (mostly for the brick kilns and for the foundation piles), even the appointment of hundreds of master masons unwilling to leave their usual areas of work, marked the first intense decades of operations in Alessandria. An initial 'urban planning' project for the layout of new buildings, including barracks, armouries and command buildings, may have existed at this stage, although very little was built within the perimeter for about 15 years after the start of the works, since almost all energy and resources were absorbed in the construction of the outer fortification system. Work on the interior gained momentum after the 1748 Treaty of Aix-la-Chapelle. This was the start of a period marked by the construction of the large masonry buildings, able to withstand bombing, which still define the Cittadella's skyline today. After an initial, unsuccessful experiment in the construction of 'bomb-proof' barracks, conducted

Gaetano (?) Quaglia, *Carte Corografique des Environs de la Citadelle d'Alexandrie*, 1780-1790 circa (AST, Sezioni Riunite, Carte topografiche e disegni, Ministero della guerra, Tipi Guerra e Marina, Sezione IV, n. 467) // Gaetano (?) Quaglia, *Carte Corografique des Environs de la Citadelle d'Alexandrie*, 1780-1790 circa (AST, Sezioni Riunite, Carte topografiche e disegni, Ministero della guerra, Tipi Guerra e Marina, Sezione IV, n. 467).

che definiscono ancora oggi il panorama della cittadella. Dopo un primo, e non felice, esperimento di costruzione di una caserma "alla prova", condotto dall'anziano ingegnere capo Ignazio Bertola, ad Alessandria si misurerà una nuova generazione di progettisti, più sicuri nel sostenere i progetti con un sapere in linea con l'evoluzione delle scienze europee. Sulla scorta di un piano generale, che teneva conto delle necessità della fortezza sia in pace sia in tempo di guerra, venivano messe in cantiere nuove caserme, un palazzo di governo e, intorno al 1770, un grandioso ospedale militare, destinato a rimanere incompiuto. L'architetto Borra, gli ingegneri Pinto e Papacino d'Antoni sono tra i registi di questa operazione, che porterà la piazza d'armi a configurarsi quasi come una *place royale*, segnata da coerenza e unità, e da edifici razionalmente distribuiti, robusti, dalle geometrie semplici e dagli ornati rarefatti[3].
Nel frattempo, però, la cittadella, attraversata da persone e merci sulla strada per Asti, continuava a funzionare come un pezzo di città, e questo è un altro dato da ricordare, al pari del lungo periodo di coesistenza tra la cittadella in costruzione e molti edifici dell'antico quartiere di Borgoglio, non ancora interamente demolito. L'andirivieni di viaggiatori e cittadini che si insinuavano tra gli edifici vecchi e nuovi, varcavano le porte e attraversavano il ponte coperto, introduceva nella piazzaforte forme di vita urbana forse più vivaci di quanto non avrebbero auspicato i suoi governatori militari. In questa connessione tra una città che continuava ad esistere, e una cittadella che si dotava di nuove ambiziose architetture, trova conferma l'osservazione di Martha Pollak, secondo cui un po' dappertutto in Europa, "le Cittadelle riassumevano la città, e spesso finivano con assomigliarle".

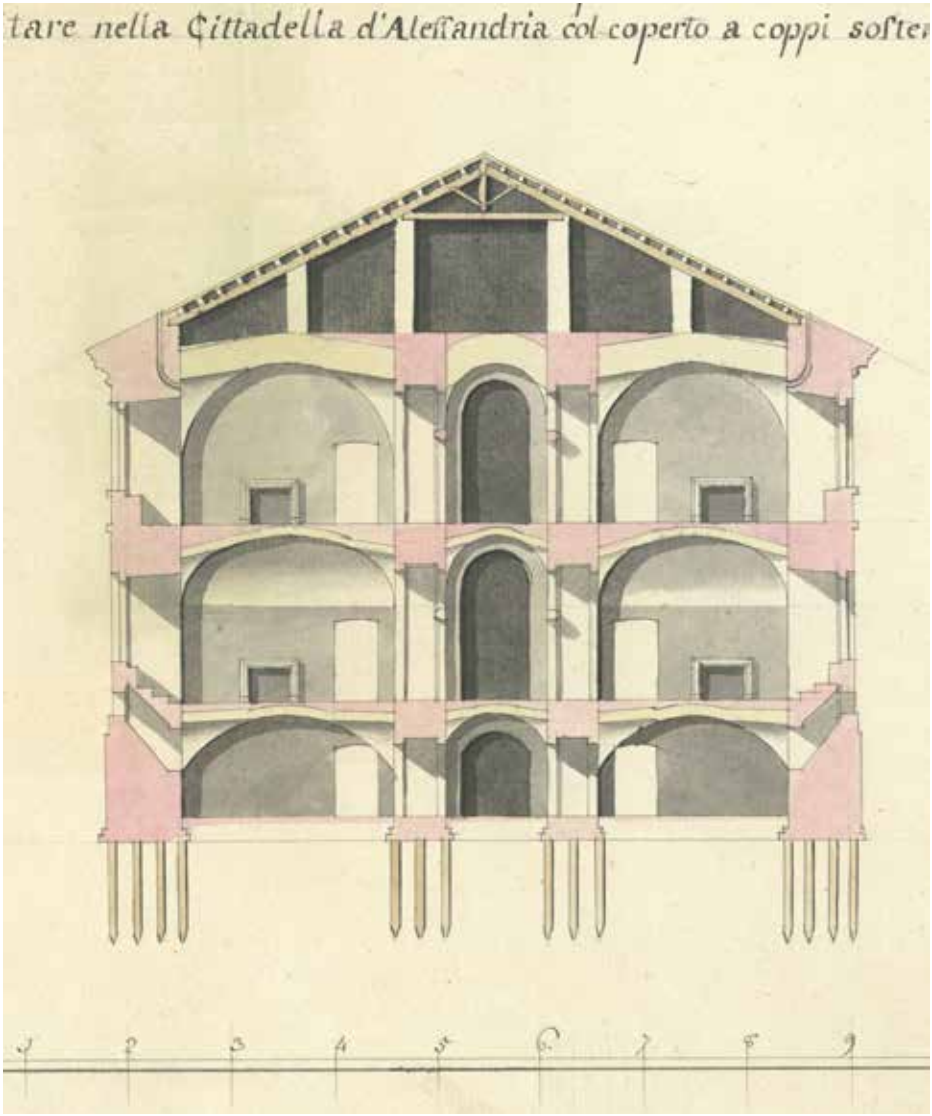
La tentazione della megastruttura

Il periodo francese (1800-1814) costituisce per l'architettura della cittadella un periodo di grandi trasformazioni funzionali, ma non di

by the elderly chief engineer Ignazio Bertola, a new generation of planners, more confident in these kinds of projects and with refined knowledge in line with the evolution of European sciences, asserted itself in Alessandria. On the basis of a general plan, which took into account the needs of the fort in both peace and war, new barracks, a government palace and, around 1770, a grandiose military hospital, which was destined to remain unfinished, were built. The architect Borra, the engineers Pinto and Papacino d'Antoni were among the directors of this operation, which led to the parade ground taking on the appearance of a *place royale*, marked by coherence and unity, and by logically distributed, robust buildings with simple geometries and even some well placed decoration[3].
In the meantime, the Cittadella, traversed by people and goods on the road to Asti, continued to function as part of the city. This is another fact worth remembering, along with the long period of coexistence between the Cittadella under construction and many buildings in the old Borgoglio district, previously sitting on the Citadel's site and not yet entirely demolished. The hustle and bustle of travellers and citizens wandering between the old and new buildings, passing through the gates and crossing the covered bridge, introduced forms of urban life to the fort that were perhaps more vibrant than its military governors would have wished. In this connection between a city that continued to exist and a citadel that was equipped with ambitious new architecture, Martha Pollak's observation is confirmed. According to Pollak, almost everywhere in Europe, 'Citadels summed up the city, and often ended up resembling it'.

The temptation of the megastructure

The French period (1800-1814) constitutes a period of great functional transformation for the citadel's architecture, but not of form and language. Napoleon's engineers, educated to consider the city-state as an object to be designed in its entirety, recognised the quality of the achievements of the second half of the 18th



disegnatore dell'Azienda fabbriche e fortificazioni, *Taglio al traverso della manica paralella a Levante della Fabbrica dello spedale militare nella Cittadella d'Alessandria col coperto a coppi sostenuto da legnami*, circa 1770, dettaglio (Politecnico di Torino, Biblioteca Centrale d'Architettura "Roberto Gabetti") // illustrator of the Azienda fabbriche e fortificazioni, *Taglio al traverso della manica paralella a Levante della Fabbrica dello spedale militare nella Cittadella d'Alessandria col coperto a coppi sostenuto da legnami*, 1770 about, detail (Politecnico di Torino, Biblioteca Centrale d'Architettura "Roberto Gabetti").

forma e linguaggio. Gli ingegneri napoleonici, educati a considerare la città di Stato come un oggetto da progettare nella sua totalità, hanno riconosciuto la qualità delle realizzazioni del secondo Settecento, e non hanno esitato, nelle loro scelte, a porsi in continuità rispetto alle scelte degli architetti e ingegneri sabaudi. Ne sono prova i progetti architettonici redatti sotto il generale Chasseloup, che si riallacciano al disegno degli edifici preesistenti, completando le demolizioni degli edifici antichi ancora all'interno del perimetro, e incrementando le costruzioni nuove in base a programmi funzionali che attribuivano alla Cittadella la funzione di polo logistico. Per questo, si dava il via libera ai cantieri di nuove armerie, depositi e magazzini (e si sopprimeva il primitivo progetto di una chiesa per la guarnigione). Intanto, anche il rapporto con la città cambiava: in quegli anni Alessandria veniva ridisegnata sulla carta in base a un progetto visionario, e per certi versi delirante, che prevedeva di ingigantirne a dismisura le fortificazioni, per costituire una città-fortezza imprendibile su entrambi i lati del fiume, con una "coreografia di fortissimo impatto" (G. Ratti) per l'ingresso all'Impero. La città oltre Tanaro era quindi interessata da grandiosi progetti di demolizione-ridisegno-costruzione, che coinvolgevano le mura e interi quartieri. Questa ipotesi di una fusione tra fortezza e nucleo urbano si manifesta in modo tangibile in alcune realizzazioni all'interno della cittadella. La cosidetta Sala d'armi, parallelepipedo gigante posto all'ingresso della fortezza per chi proviene dalla città, dotata di immense sale voltate ai primi due piani e di una spettacolare volta ogivale che sorregge la copertura a prova di bomba, è un prodotto emblematico di questi anni, e resta la testimonianza più eloquente del salto di scala tentato ad Alessandria dalla nuova amministrazione imperiale.

Il ripiegamento all'interno del recinto

Dopo la restaurazione, l'abbandono dei grandiosi progetti napoleonici indurrà a una

century and did not hesitate, in their choices, to align themselves with the choices of the Savoy architects and engineers. Evidence of this can be found in the architectural plans drawn up under General Chasseloup, which closely follow the design of the existing buildings, completely demolishing the remnants of the ancient neighborhood, and increasing the number of new constructions on the basis of functional programmes that lent the Cittadella the function of a logistics centre. The construction of new armouries, depots and warehouses was given the go-ahead, just as the original plan for a church for the garrison was scrapped. In the meantime, the relationship with the city also changed. During those years, Alessandria was redesigned on paper on the basis of a visionary, and in some ways nonsensical, project, which envisaged making the fortifications much larger, to form an impregnable fortress-city on both sides of the river, with an 'impactful choreography' (G. Ratti) for the entrance to the Empire. The city on the other side of the River Tanaro was thus affected by grandiose demolition, redesign and construction projects, involving the walls and entire neighbourhoods. This hypothesis of a fusion between the fort and the urban core is tangibly manifested in some of the constructions inside the citadel. The Sala d'Armi (armoury), a giant parallelepiped placed at the entrance to the fort for those coming from the city, with immense vaulted rooms on the first two floors and a spectacular ogival vault supporting the bomb-proof roof, is an emblematic product of these years. It remains the most eloquent testimony to the leap in scale attempted in Alessandria by the new imperial administration.

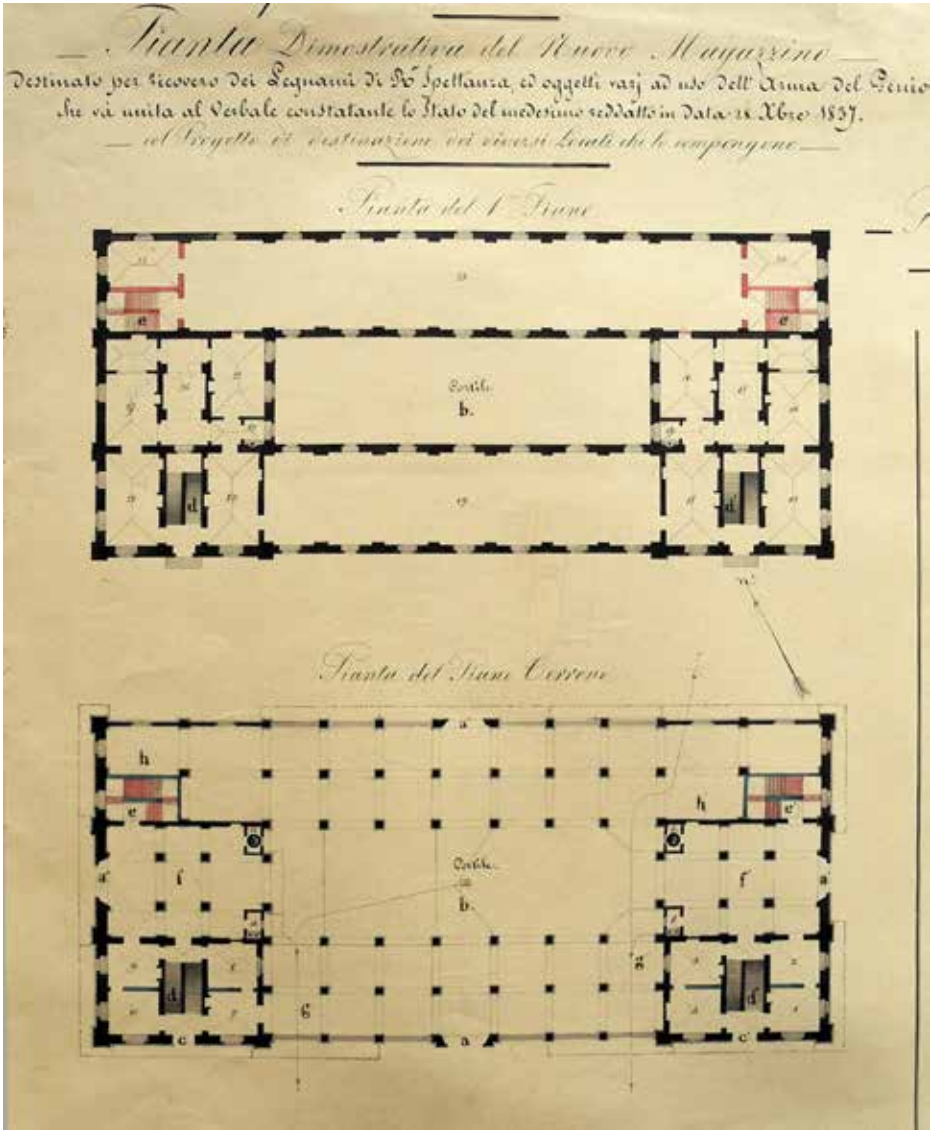
Retreating into the enclosure

After the restoration, the abandonment of the grandiose Napoleonic designs led to gradual confirmation of the citadel's logistical vocation, but also to its gradual isolation from the city. With the reduction of its symbolic value, there would be a tendency towards extemporaneous

disegnatore del Genio francese, *Elévation latérale du Batiment des Vivres de la Citadelle*, 1811, particolare (Roma, ISCAG, Edifici Militari, XX-C, 1476/04) // French draftsman of the Génie militaire, *Elévation latérale du Batiment des Vivres de la Citadelle*, 1811, detail (Rome, ISCAG, Edifici Militari, XX-C, 1476/04).

graduale conferma della sola vocazione logistica della cittadella, ma anche a un progressivo suo isolamento rispetto alla città. Con il ridimensionamento del suo valore simbolico, si imporrà una tendenza all'intervento edilizio estemporaneo, non più verificato alla luce di un disegno generale. È dagli anni trenta dell'800, insomma, e non prima, che l'interno della cittadella può essere considerato come un recinto 'soltanto' di uso militare, via via più indifferente alle vicende della vicino centro urbano.
Ridotta a materia amministrativa, la progettazione e gestione delle costruzioni interne al perimetro esagonale sarà subordinata a logiche di manutenzione, adeguamento impiantistico o idraulico, incremento degli spazi coperti, ma non più di immagine pubblica. È infatti inutile cercare di ricondurre alla logica unitaria che aveva fino ad allora informato la progettazione dell'interno del perimetro, gli edifici aggiunti o costruiti dagli anni 1830 e fino alla dismissione del complesso. Sono corpi di fabbrica, quelli otto- e novecenteschi rimasti in piedi (non poche sono state le demolizioni[4]), che compongono un'antologia dei modi con cui, per un po' più di un secolo, gli uffici tecnici dell'esercito sono intervenuti a risolvere singoli problemi: per lo più in fretta, economicamente e con i materiali e le tecniche più facilmente a portata di mano.
Basta pensare ai magazzini ottocenteschi del Genio, un edificio elegante ma fragile, oggi in stato di crollo, e al deposito dietro al S. Tommaso, ancora portatore di un ordine urbanistico residuale, ma non più di un linguaggio mimetico rispetto alle preesistenze.
Le murature di questi due edifici, del resto, al confronto con gli edifici 'alla prova' del Settecento, sembrano fogli di carta. E non mancano oggetti ancora più fuori luogo, come il villino della centrale radio in posizione decentrata sull'angolo della piazza d'armi: imitazione, ironica suo malgrado, di una residenza borghese. O ancora, la serie di capannoni autarchici realizzati intorno al 1940 (tra cui un "capannone tipo autarchico binato"): architetture industriali, più

building interventions, no longer seen in the light of an overall design. Since the 1830s, in short, and not before, the interior of the citadel can be considered as an enclosure 'only' for military use, gradually more and more indifferent to the events of the nearby urban centre.
Reduced to an administrative matter, the design and management of the buildings inside the fortified perimeter would be subordinated to the logic of maintenance or, at best, of technological and hydraulic upgrades, but no longer to public image. It is futile to try to trace back to the unitary logic that had hitherto informed the design of the interior of the perimeter, the buildings added or constructed from the 1830s until the complex was abandoned. The nineteenth- and twentieth-century buildings that have remained standing (there have been many demolitions[4]) make up an anthology of the ways in which, for a little over a century, the army's technical offices intervened to resolve individual problems: mostly in a hurry, economically and with the materials and techniques most readily available.
Just think of the 19th-century civil engineering workshop, an elegant but fragile building, now in a state of collapse, and the depot behind San Tommaso, which still bears a residual urban order, but no longer a mimetic language with respect to the pre-existing buildings. The masonry of these two buildings looks paper-thin when compared to the bomb-proof buildings of the 18th century.
There is no shortage of even more inappropriate objects, such as the small radio station 'cottage' off the corner of the parade ground: an ironic imitation of a bourgeois residence. Or the series of self-sufficient sheds built around 1940 (including a 'twin self-sufficient shed', in line with the fascist régime's autarchic policies): industrial rather than 'military' architecture in the broad sense, and now fragile evidence of the interesting building experiments of those years. Delicate choices will soon have to be made with regard to these buildings, unique combinations of traditional masonry and experimental materials, all in a precarious state of conservation.



disegnatore piemontese, *Pianta dimostrativa del nuovo magazzino destinato per ricovero dei Legnami di R.a Spettanza, ed oggetti varj ad uso dell'Arma del Genio* [...], 21 dicembre 1837, (Roma, ISCAG, Edifici Militari, XX-C, 1462) // Piedmontese illustrator, *Pianta dimostrativa del nuovo magazzino destinato per ricovero dei Legnami di R.a Spettanza, ed oggetti varj ad uso dell'Arma del Genio* [...], 21 dicembre 1837, (Rome, ISCAG, Edifici Militari, XX-C, 1462).

che ‘militari’ in senso lato, e testimonianze ormai fragili delle interessanti sperimentazioni edilizie di quegli anni. Si imporranno, a breve, scelte delicate nei confronti di queste costruzioni, singolari combinazioni di murature tradizionali e materiali sperimentali, tutte in condizioni precarie di conservazione.

Una fortificazione ‘non più necessaria’
Il ruolo marginale e il fardello economico crescente della Cittadella, la cui dismissione dall’uso militare è divenuta definitiva soltanto nel 2007, hanno segnato gli eventi degli ultimi decenni. La dismissione così tardiva non ha innescato i meccanismi di collocazione sul mercato immobiliare e trasformazione di altre Piazze militari, fagocitate senza difficoltà dalla crescita delle città del Novecento. La cittadella siede placidamente, ora, a fianco di una *shrinking city* del ventunesimo secolo. Una contropartita positiva di questo scenario, è stato il mantenimento delle strutture in condizioni vicine a quelle originarie, e all’interno di un paesaggio rinaturalizzato, addirittura rigoglioso. La smilitarizzazione non ha trasformato in modo irreversibile il nucleo patrimoniale all’interno dell’esagono, se non per l’avvenuta erosione o distruzione delle architetture più fragili, il che ha evidenziato per contrasto la robustezza di quelle più antiche (che sono tuttavia colpite da dissesti puntuali). Soltanto ciò che non è corazzato sta decadendo molto rapidamente: ed è emblematico, in questo senso, il collasso delle strutture leggere aggiunte nel XIX secolo alle caserme “alla prova” di S. Carlo e S. Tommaso. È in corso, insomma, un processo quasi darwiniano di sopravvivenza di fronte all’abbandono. La parola ora va alle nuove istituzioni che della cittadella si sono fatte carico, e alla città; anche perché la tutela del patrimonio culturale non è un *optional*, e la selezione naturale non pare un criterio opportuno di selezione del valore patrimoniale; a meno di non ipotizzare un futuro paesaggio memoriale di gusto piranesiano, tutto di rovine e vegetazione /

A fortification that is ‘no longer necessary’
The marginal role and growing economic burden of the Cittadella, which was only definitively decommissioned from military use in 2007, have marked the events of recent decades. The fact that it was decommissioned relatively late in the day meant that the mechanisms for placing the military parade grounds on the property market and converting them were not triggered, as it had happened in other 20th-century cities, whose growth had consumed every available space in the immediate proximity of the centre. The citadel now sits placidly alongside a 21st-century shrinking city. One positive side to this has been the fact that the structures have been kept in close to original condition, within a renaturalised, even lush, landscape. Demilitarisation has not irreversibly transformed the heritage core within the hexagon, except for the erosion or destruction of the more fragile structures, highlighting by contrast the robustness of the older buildings (which is, however, affected by instability at certain points). The parts that are not so heavily fortified are decaying rapidly: the collapse of the light 19th century additions (service towers) to the ‘bomb-proof’ barracks of San Carlo and San Tommaso is a good example of this. In short, there is an almost Darwinian process of survival in the face of abandonment. The word now goes to the new institutions that have taken charge of the citadel, and to the city. The protection of cultural heritage is not an optional extra, and natural selection does not seem to be an appropriate criterion for the selection of patrimonial value; unless we imagine a future memorial landscape in the style of Giovanni Battista Piranesi, all ruins.

[1] BRTo, Saluzzo 745, *Mémoire Etat estimatifs et dessins des fortifications exécutées à Alexandrie selon le tracé du S. G.e Comte Chasseloup adopté pour la place d'Alexandrie*, 1810: "Dans l'intérieur de la Citadelle il existait des Casernes, un Pavillon d'Officiers et un hopital non terminé tous les bâtimens d'une belle construction, et voûtés à l'épreuve, décelaient par tout les soins, et la dépense que les Rois de Sardaigne prodiguaient dans les fortifications, seul moyen qui leur restait de rétablir l'équilibre de puissance." Altrove, Chasseloup conferma e rilancia: "cette Citadelle à déjà *trois magnifiques bâtiments voûtés*" (cit. in A. Barghini, *Une grande place de dépôt. Progetti e realizzazioni 1799-1814*, in A. Marotta (a cura di), *La Cittadella di Alessandria, una fortezza per il territorio dal Settecento all'Unità*, Cassa di Risparmio di Alessandria, Alessandria 1991, pp. 85-99, p. 88) e ancora ribadisce, in un momento di pieno sviluppo dei cantieri (1808), che i nuovi edifici in costruzione, edificati sul modello di quelli preesistenti, sono "d'une architecture, pure, simple, mâle et vraiment militaire" (ibidem, p. 93). Sull'architettura della cittadella, cf. i saggi in A. Marotta, *La cittadella di Alessandria, op. cit.*; G. Cerino Badone, *Sulla Strada di Fiandra. Storia della Cittadella di Alessandria (1559-1859)*, FAI, Alessandria 2014; E. Piccoli, C. Tocci, E. Zanet, R. Caterino, *Building on water and the Modern State. Eighteenth century foundation techniques in the fortifications of Alessandria*, in J.W.P. Campbell et alii (a cura di), *Water, Doors and Buildings. Studies in the History of Construction*, Proceedings of the Sixth Conference of the Construction History Society (Cambridge, 5-7 aprile 2019), Cambridge 2019, pp. 358-373.

[2] Così si esprimeva una commissione del Genio italiano nel 1864-1865, nel corso dell'esame di alcuni progetti per l'interno del perimetro della Cittadella (ISCAG, Archivio storico).

[3] Sulla decorazione degli edifici di Alessandria vi sarebbe molto da dire: ci limitiamo qui a notare che Borra accantona il linguaggio decorativo, insieme ridondante e letterale, dei militari seicenteschi - ancora nelle corde di Bertola -, fatto di palle di cannone, colonne-affusto e pesanti bugnati, per rivolgersi a una decorazione sintetica e quasi astratta, enfatizzata dalla "bellezza positiva" di un materiale perfettamente messo in opera.

[4] Le foto aeree della seconda guerra mondiale consentono di mappare le permanenze e le demolizioni (e i danneggiamenti dei bombardamenti) per gli edifici costruiti fino al 1945.

[1] BRTo, Saluzzo 745, *Mémoire Etat estimatifs et dessins des fortifications exécutées à Alexandrie selon le tracé du S. G.e Comte Chasseloup adopté pour la place d'Alexandrie*, 1810: 'Dans l'intérieur de la Citadelle il existait des Casernes, un Pavillon d'Officiers et un hopital non terminé tous les bâtimens d'une belle construction, et voûtés à l'épreuve, décelaient par tout les soins, et la dépense que les Rois de Sardaigne prodiguaient dans les fortifications, seul moyen qui leur restait de rétablir l'équilibre de puissance.' Elsewhere, Chasseloup confirms and raises the bar: 'cette Citadelle à déjà *trois magnifiques bâtiments voûtés*' (cit. in A. Barghini, *Une grande place de dépôt. Progetti e realizzazioni 1799-1814*, in A. Marotta (ed.), *La Cittadella di Alessandria, una fortezza per il territorio dal Settecento all'Unità*, Cassa di Risparmio di Alessandria, Alessandria 1991, pp. 85-99, p. 88). And again, at a time when construction work was in full swing (1808), he stressed that the new buildings under construction, built on the model of the existing ones, were 'd'une architecture, pure, simple, mâle et vraiment militaire' (ibid., pg. 93). On the Citadel's architecture, see the essays in A. Marotta, *La cittadella di Alessandria, op. cit.*; G. Cerino Badone, *Sulla Strada di Fiandra. Storia della Cittadella di Alessandria (1559-1859)*, FAI, Alessandria 2014; E. Piccoli, C. Tocci, E. Zanet, R. Caterino, *Building on water and the Modern State. Eighteenth century foundation techniques in the fortifications of Alessandria*, in J.W.P. Campbell et alii (ed.), *Water, Doors and Buildings. Studies in the History of Construction,* Proceedings of the Sixth Conference of the Construction History Society (Cambridge, 5-7 April 2019), Cambridge 2019, pp. 358-373.

[2] This was the opinion of a commission of Italian Civil Engineers in 1864-1865, on examining some designs for the interior of the Cittadella perimeter (ISCAG, Historical Archives).

[3] There is much to be said about the decoration of the buildings in Alessandria. Here, we will only note that Borra set aside the decorative language of the 17th-century military, redundant and literal at the same time (which was still in Bertola's vein) made up of cannonballs, shaft columns and heavy ashlars, to turn to a synthetic, almost abstract decoration, emphasised by the "positive beauty" of a perfectly executed material.

[4] World War II aerial photographs make it possible to map the continuity and demolition (and bomb damage) of buildings constructed up to 1945.

fabbriche a resistenza di bomba /
/ bomb-proof buildings

Due sono le maniere di impedire, che l'urto delle bombe non produca effetti perniciosi in una fabbrica. La prima di quelle maniere consiste nell' accrescere la grossezza della volta, e la resistenza de' piè dritti (§. 192) affine di dare in tal guisa maggior confidenza alla fabbrica; e si pratica la seconda maniera col sovrapporre alla volta una quantità di terra stacciata, e ben battuta, imperciocché, qualora la terra sovrapposta alla volta è in altezza di piedi 2 ½ in 3, l'urto della bomba s'ammortisce in quella terra, e la fabbrica ne prova una scossa molto minore.[1]
(Alessandro Vittorio Papacino d'Antoni)

Gli edifici interni alla fortificazione alessandrina, costruiti tra il 1740 e il 1820, sono stringentemente definiti nella loro sostanza costruttiva, oltre che nella loro immagine architettonica, dalla funzione che ad essi era richiesta, ovvero quella di resistere all'urto delle bombe senza essere né rovesciati né perforati e, alla quale ci si riferisce definendo gli edifici stessi "alla prova".
Indipendentemente dal modo in cui tale essenziale requisito viene conseguito – opponendosi all'impatto dei proiettili con la impenetrabilità di una apparecchiatura di straordinaria tenacia (nella quale le volte sommitali sono coperte da un massiccio murario il cui estradosso inclinato realizza direttamente le falde di copertura); oppure smorzandone gli effetti grazie alla cedevolezza di un ricoprimento temporaneo di terra (sovrapposto alle volte in occasione degli assedi) – esso comporta l'adozione di spessori murari eccezionali e il ricorso ad apparecchi costruttivi e modalità tecniche di assemblaggio peculiari.
Questi aspetti, benché coerenti con un consolidato quadro interpretativo delle costruzioni murarie storiche, introducono alcuni elementi di differenza che meritano di essere precisati.

La qualità di un edificio murario ben costruito, o più propriamente eseguito a regola d'arte, risiede nella corretta organizzazione complessiva

Two are the methods of preventing the shock of shells from having harmful effects on a building. The first is to increase vault thickness and counterforts resistance (§ 192) to strengthen the construction. The second method is to pack the vault with a quantity of firm and well-beaten earth. If the earth packed onto the vault is 2½ to 3 feet high, the shells bury themselves on it and the building is subject to a much smaller shock. [1]
(Alessandro Vittorio Papacino d'Antoni)

The constructional substance and architectural image of the buildings inside the Alessandria fortification, built between 1740 and 1820, are strictly determined by the function required of them, which is to withstand the shock of shells without being overturned or penetrated, and which is referred to defining those buildings as bomb-proof ("alla prova").
Regardless of the way in which this essential requirement is achieved – either by resisting the shock thanks to the extraordinary structural strength of a solid work of masonry built over the vaults (and whose sloping extrados directly creates the roof slopes) or by dampening the effects of the falling shells, dulled by a temporary covering of earth (packed on the vaults during sieges) – exceptionally thick walls and peculiar technical assembly methods are required.
These aspects, although consistent with a consolidated framework of interpretation of historical masonry constructions, introduce some differences that are worth considering.

The quality of a well-built (or, more properly, built in a workmanlike manner) masonry building, depends on a rigorous overall organisation (structural layout) of the individual elements that make up the whole, and in the static efficiency of each of the elements and their reciprocal connections.
A well-conceived and well-executed structural layout is the first and most essential requirement of any historic building. Its importance is increased by the need to build "bomb-resistant constructions", meeting one of the two conditions

– l'impianto strutturale, o maglia muraria – dei singoli elementi che lo compongono e, nella efficienza statica di ognuno di essi e delle loro reciproche connessioni.
Un impianto strutturale ben concepito e realizzato, impostato su una rigorosa strutturazione della maglia muraria, costituisce il primo ed essenziale requisito di qualunque edificio storico. La sua importanza è esaltata, ad Alessandria, dalla necessità di realizzare "fabbriche a resistenza di bomba" poiché governa una delle due condizioni dalle quali la resistenza stessa dipende, vale a dire la stabilità d'assieme nei confronti delle scosse e delle spinte generate dall'urto[2].
L'impianto strutturale degli edifici della Cittadella è impeccabilmente riferibile alla classica organizzazione a maglia chiusa, con un doppio ordine di pareti mutuamente ortogonali aventi luci libere commisurate al loro spessore. Laddove, per esigenze funzionali, erano richiesti corpi di fabbrica completamente passanti, ovvero del tutto privi di pareti di telaio (trasversali), come nelle due maniche destinate nel S. Michele a ospitare le camerate dell'ospedale, l'irregolarità della maglia viene compensata dalla presenza di poderose lesene che contraffortano le pareti di facciata definendone al contempo il partito architettonico (figura 1). Fanno eccezione le fabbriche realizzate nel periodo napoleonico, come l'arsenale o l'edificio dei forni, con i loro spazi continui scanditi all'interno solo dalla presenza di pilastri isolati, sui quali non a caso sono state operate delle correzioni immediatamente dopo la loro costruzione.

La seconda condizione richiesta alle fabbriche alla prova, e cioè la impenetrabilità del materiale, chiama invece in causa la qualità degli elementi costruttivi[3], per i quali il discorso è più articolato. La lettura delle Istruzioni generali di Giuseppe Ignazio Bertola[4] non lascia dubbio sul fatto che l'immagine laterizia della Cittadella non rappresenti un fatto semplicemente epidermico e corrisponda alla vera sostanza costruttiva

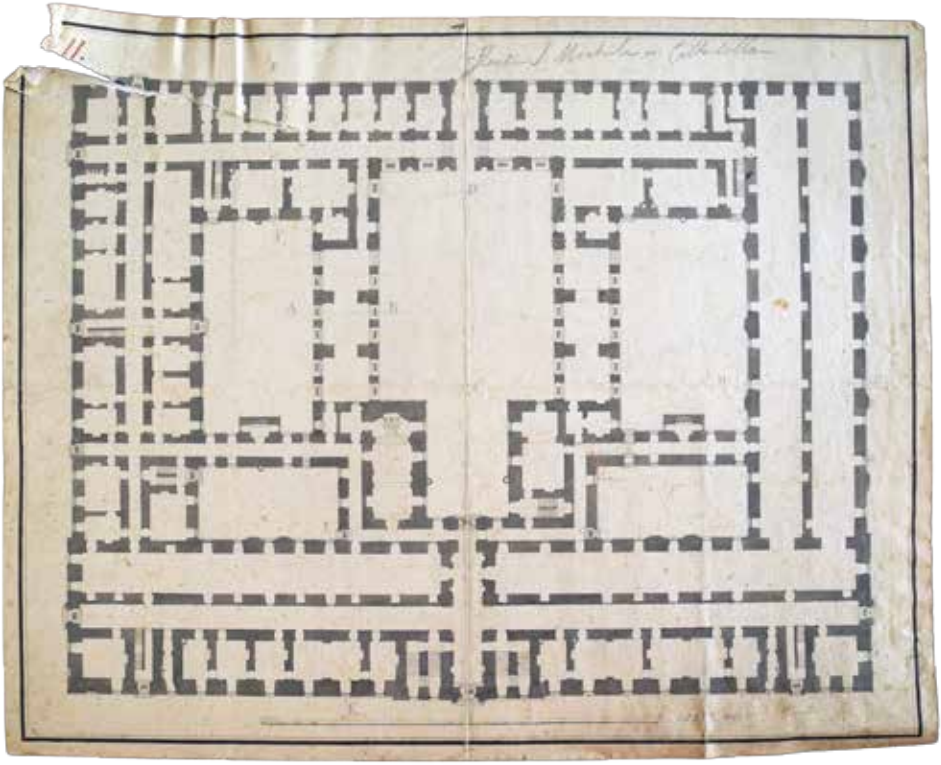
on which resistance itself depends, namely the stability of the structure against the shocks and thrusts generated by shells[2].
The structural layout of the Citadel buildings is an impeccable example of the classic box-like organisation, with a double row of walls at right angle to one another with free spans commensurate with their thickness. Where, due to functional requirements, the buildings had to be completely pass-through, i.e. with no shear walls, as in the two San Michele barracks' wings intended to house the hospital's dormitories, the irregular wall structure was compensated for by mighty pilasters defining the architecture of the facades and, meanwhile, buttressing them (Figure 1). Exceptions to this are the buildings erected during the Napoleonic period, such as the arsenal or the oven building, with their continuous spaces marked on the inside only by the presence of isolated pillars, to which, not by chance, reinforcement were introduced immediately after their construction.

The second requirement for bomb-proof buildings, namely impenetrability, depends on the quality of the construction elements[3], for which the discussion is more complex.
A reading of Giuseppe Ignazio Bertola's General Instructions[4] leaves us in no doubt that the bricks of the Citadel do not merely constitute a surface veneer but make up the true structural substance not only of the fortified enceinte, but also of the imposing barracks built within. Extremely thick walls ("muraglie"), almost two metres thick in the case of the external walls, are made entirely of bricks from the outer face to the inner core. New bricks (well fired, known as mezzanelle) were used for the external walls and the top vaults, which had to withstand the shock of shells; while the interior walls were built with bricks coming from the demolition of the old Bergoglio neighbourhood (Figure 2). The Instructions set out strict rules for reusing these bricks, which involved completely cleaning them of residues of old binding agent and orderly stacking them in areas of the site

non solo del perimetro bastionato ma anche delle imponenti caserme edificate al suo interno. “Muraglie” di grande spessore, che arrivano a misurare nelle pareti perimetrali quasi due metri, sono interamente realizzate, dalla cortina al nucleo interno, di mattoni: riservando i mattoni nuovi (ben cotti, le mezzanelle) alle pareti perimetrali e alle volte sommitali che devono opporsi all’urto delle bombe, e i mattoni di recupero – derivanti dalla demolizione del vecchio Bergoglio e per i quali nelle Istruzioni si prescrivono severe regole di riutilizzazione, prevedendo la loro completa pulitura da residui del vecchio legante e l’accatastamento ordinato in zone del cantiere a ciò appositamente deputate – alle pareti interne (figura 2).
Le regole da osservare per la costruzione delle muraglie sono condensate in poche stringenti prescrizioni nelle quali non è difficile riconoscere i due principali obiettivi della classica regola dell’arte muraria: il monolitismo della tessitura, garantito dalla semplice disposizione alternata degli elementi (“Si murerà ben intrecciato tanto in copertina, che in dentro; acciochè le muraglie restino ben legate ed inchiavate …”; Istruzioni, punto 59), e l’orizzontalità dei ricorsi (“… corso per corso si distenderanno le dovute lacinate, e si murerà sottilmente in calcina …”; Istruzioni, punto 60).
Alla corretta disposizione degli elementi si aggiunge però, nella Cittadella, la straordinaria qualità del legante la cui “tenacità” (così è chiamata nelle fonti settecentesche la resistenza a trazione), associata allo spessore poderoso delle strutture (di elevazione e voltate), trasforma l’assemblaggio intrinsecamente discontinuo dell’opera muraria tradizionale, monolitica per virtù di apparecchio, in una materia continua e tenace, come scavata in una roccia omogenea.
I valori di resistenza a trazione[5], variabili da 0.15 a 0.30 MPa, sono davvero sorprendenti e tali da consentire comportamenti paragonabili a quelli della migliore concrezione romana: i monconi in aggetto di molti ruderi di volte romane, il cui equilibrio non si potrebbe spiegare prescindendo

specifically set aside for this purpose.
The rules to be observed for the construction of the walls are detailed in a few stringent provisions in which it is not difficult to recognise the two main aims of the standard masonry workmanlike manner: the monolithic nature of masonry work, achieved by simply alternating the elements (“Masonry must be well arranged both internally and externally, so that the walls remain well-bound and interlocked…”; Instructions, point 59), and the horizontality of the courses (“… course by course the necessary mortar will be laid, and finely clad in lime mortar…”; Instructions, point 60).
In addition to the precise arrangement of the elements, the buildings in the Citadel also features a high quality mortar, whose tensile strength (“tenacità”, as it is called in eighteenth-century sources), associated with the massive thickness of the structures (walls and vaults), transforms the intrinsically discontinuous assembly of traditional masonry, monolithic by virtue of its constructional rule, into a continuous and firm material, as if hewn from a single rock.
The tensile strength values[5], varying from 0.15 to 0.30 MPa, are truly surprising and allow for structural behaviours comparable to that of the best Roman opus caementicium: the projecting remains of many Roman vault ruins, the equilibrium of which could not be explained without the material’s tensile strength, are extraordinarily similar to some remains of the Brunetta fort in Val di Susa – to quote an example that has very strong analogies with the Citadel – or fragments of the Alessandria masonry itself (figure 3).

The same rule of construction presides over the bomb-proof vaults, which, with their mighty three to four brick thicknesses, seem to sum up Vittone’s sensational (and only apparently paradoxical) statement in the most convincing way: “The vaults are curved walls, which springing from the straight walls… stretch out to cover with their own bodies the spaces between them”[6].
An assertion that is reinforced by the way the



1. pianta del quartiere San Michele, inizio Ottocento (Roma, ISCAG, Edifici Militari, XX-F, 1442/01) // Plan of the San Michele barracks, early 19th-century (Roma, ISCAG, Edifici Militari, XX-F, 1442/01).

dalla resistenza a trazione del materiale, sono straordinariamente simili ad alcuni resti del forte della Brunetta, in Val di Susa – per restare a un esempio che ha fortissime analogie con le murature della Cittadella – o a frammenti delle stesse murature alessandrine (figura 3).

La stessa regola costruttiva presiede alla realizzazione delle volte alla prova che, con le loro poderose ghiere da sei a sette teste di spessore, sembrano riassumere nella maniera più convincente la sensazionale (e solo apparentemente paradossale) affermazione di Vittone: "Le volte sono muri arcuati, li quali spiccandosi dai muri dritti, … si stendono a coprire col proprio corpo i vani esistenti tra essi"[6]. Affermazione che le stesse modalità di connessione delle volte con i muri di spiccato rafforzano. Le volte alla prova si possono realmente considerare come la prosecuzione, su superfici non più verticali, delle pareti di elevazione, sotto diversi riguardi (che, per inciso, corrispondono ad altrettante differenze con le volte ordinarie): innanzitutto perché di spessore confrontabile, in secondo luogo per la realizzazione contestuale dei due apparecchi murari, infine per le specifiche modalità costruttive – che si possono ad esempio rilevare nel quartiere S. Michele, sotto l'intonaco scrostato di alcune camerate – in virtù delle quali è di fatto impossibile distinguere i diversi elementi e, pareti e volte realizzano una "massa coniata e gettata" (è l'immagine con cui Leandro Caselli descrive archi e pennacchi della cupola di San Gaudenzio). (figura 4)
Le volte intermedie sono invece volte ordinarie a due teste realizzate, al pari dei muri interni, con "mattoni vecchi" e per esse è evidente il ricorso a una modalità di connessione sistematicamente rilevabile nelle fabbriche murarie storiche consistente nel predisporre sulle pareti di elevazione, durante la costruzione, le sedi che ospiteranno le imposte delle volte, in aggetto o incassate, e nel costruire le volte stesse solo quando l'altezza dell'edificio è tale da opporsi, in

vaults are connected to the impost walls. The bomb-proof vaults can really be considered as the continuation of the walls on surfaces that are no longer vertical in a number of respects (which, incidentally, correspond to as many differences with ordinary vaults): first, because they are of comparable thickness; secondly, because of the simultaneous construction of the two masonry works; and thirdly, because of the specific construction methods that can be surveyed, for example, in the San Michele barracks (under the peeling plaster of some dormitories), and make it impossible to distinguish the different elements, walls and vaults, which form a kind of "molten and cast mass" (this is the image used by Leandro Caselli to describe the arches and pendentives of the dome of San Gaudenzio) (Figure 4).
The intermediate vaults, on the other hand, are ordinary one brick vaults built, like the internal walls, with "old bricks". They are connected to the impost walls using a method systematically found in historical masonry constructions that involves providing housings (either projecting or recessed) for the vault imposts on the walls during construction, and building the vaults themselves only when the height of the building is such as to oppose their thrust by virtue of its own weight (Figure 5).

In spite of the continuity of the elements ensured by the construction quality of the materials and the assembly methods, the Citadel barracks are nevertheless equipped with additional connection devices, which can either be surveyed in the buildings themselves or deduced from archive sources, and express, almost paradigmatically, an idea of masonry building in which the most important structural requirement is the capacity to act as a whole; idea all the more interesting in that the concept of the Citadel's mighty walls is different from that of ordinary walls.
These connection devices consist first and foremost of wooden elements (radiciamenti, according to later terminology) embedded in the masonry walls during construction in order to

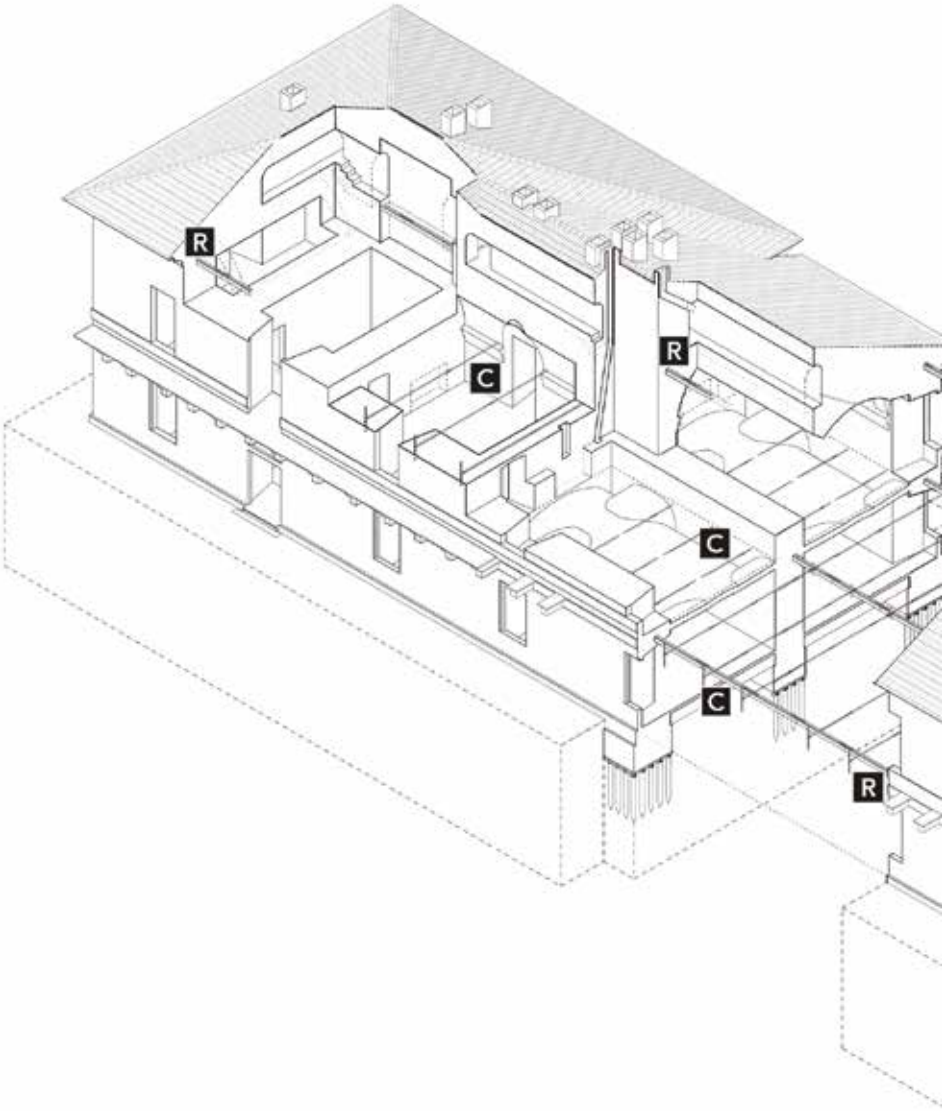
2

3

4

5

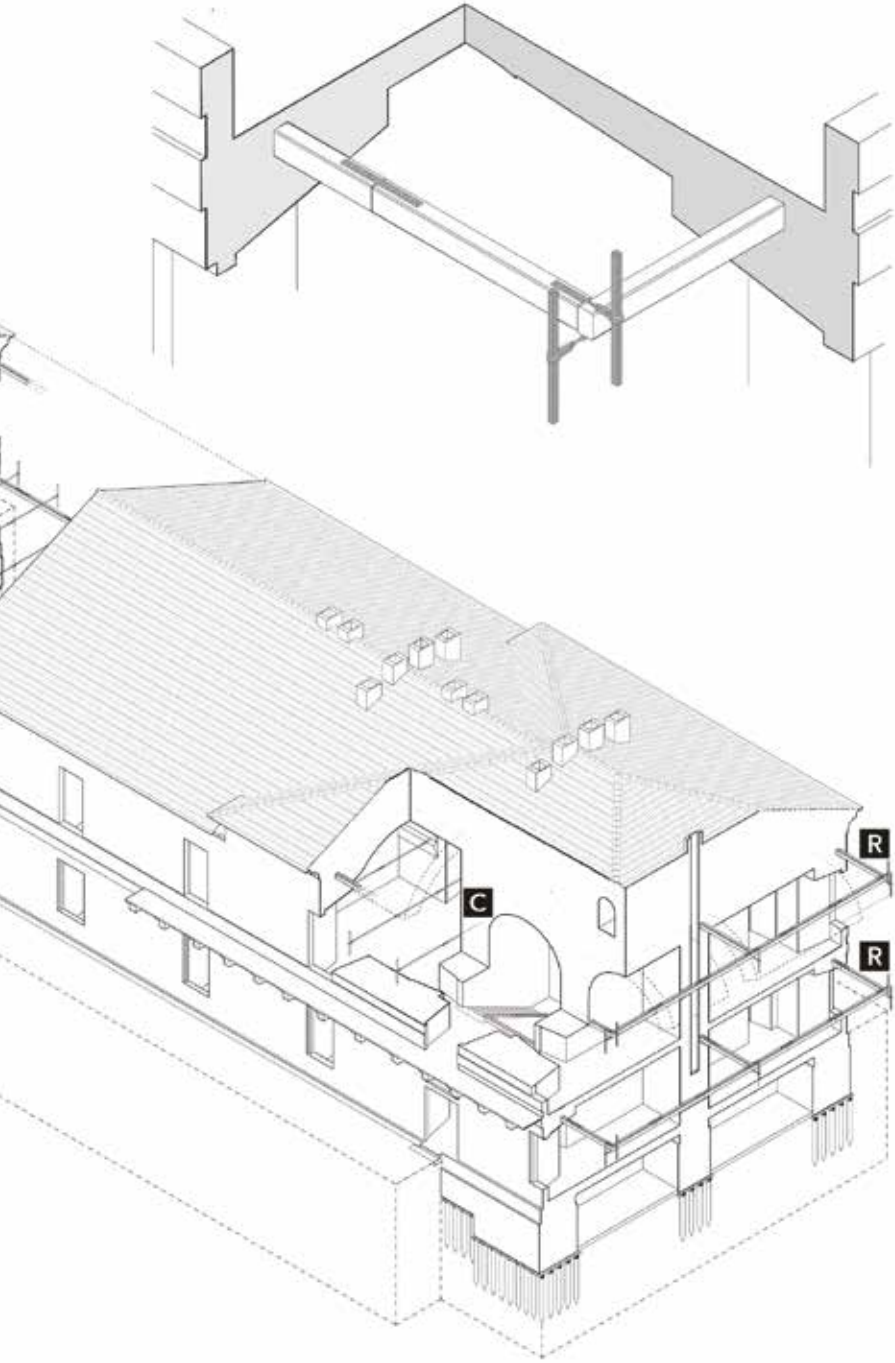
2. tessiture laterizie a tutto spessore visibili in corrispondenza delle morse di attesa delle pareti longitudinali interne ed esterne, nella manica Est del San Michele rimasta incompiuta // Full-thickness brickworks visible on the toothings for the internal and external longitudinal walls, in the unfinished east wing of the San Michele barracks. 3. la *concrezione* laterizia in un frammento murario, dietro il quartiere San Carlo // the brick *opus caementicium* in a wall fragment, behind the San Carlo barracks. 4. continuità delle tessiture murarie della volta alla prova e della parete esterna, in corrispondenza dello stipite di una finestra nella manica Nord-Est del San Michele // Continuity of the masonry work of the bomb-proof vault and the external wall at a window's jamb in the North-East wing of the San Michele barracks. 5. sede per l'imposta di una volta ordinaria a due teste, visibile in corrispondenza di una lunetta, nell'interrato del quartiere S. Carlo // housing for a one-brick common vault's impost, visible at a lunette, in the basement of the San Carlo barracks.



R "radiciamenti": elementi lignei immersi nelle pareti perimetrali e di spina, giuntati con piatti metallici, e vincolati alle pareti ortogonali con ancoraggi metallici // "radiciamenti": wooden elements embedded in perimeter and spine walls, joined to each other with metal strips and restrained to the side walls with metal anchors.

C catene: barre metalliche con ancoraggi terminali incassati nelle pareti // tie-rods: metal bars with side anchors housed in walls' recessed.

6. l'organismo strutturale del quartiere San Tommaso con il suo sistema di connessioni, radiciamenti lignei e catene metalliche (disegno di A. Rossi) // the overall structural body of the San Tommaso barracks with its system of connections – wooden radiciamenti and iron tie-rods (drawing by A. Rossi).

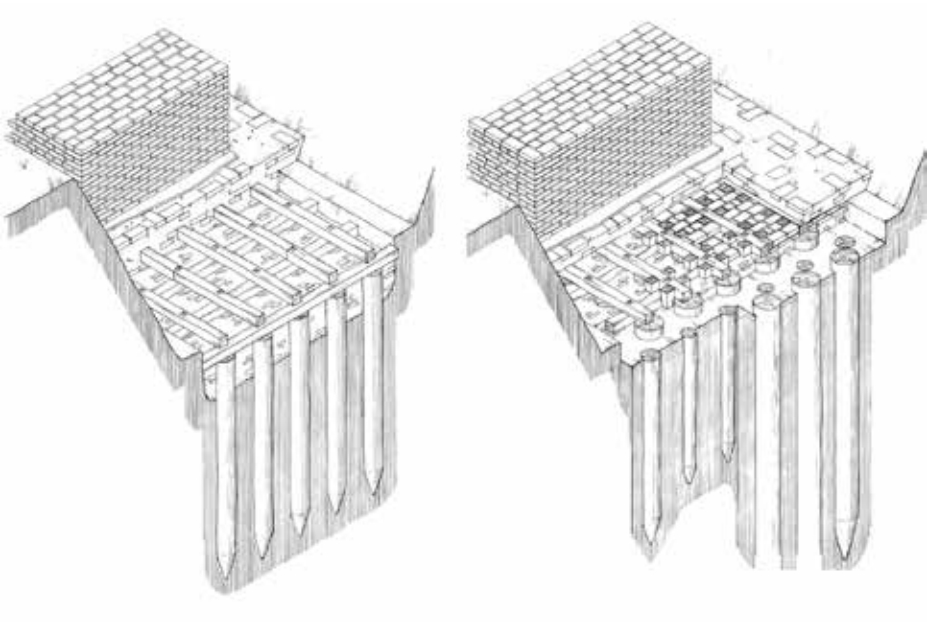

C
R
R

virtù del proprio peso, alla loro spinta (figura 5).

Nonostante la continuità delle membrature garantita dalla qualità costruttiva dei materiali e dalle modalità tecniche del loro assemblaggio, le caserme della Cittadella sono comunque dotate di dispositivi di connessione aggiuntivi, rilevabili direttamente negli edifici o desumibili dalle fonti d'archivio, che esprimono in maniera quasi paradigmatica una idea di fabbrica muraria in cui il primo e più importante requisito costruttivo e strutturale risiede nella possibilità di esibire un funzionamento unitario; idea tanto più interessante quanto diversa sembra la concezione delle poderose murature della Cittadella rispetto a quelle ordinarie. Questi dispositivi di connessione consistono innanzitutto in elementi lignei (*radiciamenti*, secondo una terminologia posteriore) immersi nelle murature all'atto costruttivo in modo da collegare i diversi ordini di pareti ortogonali e realizzare ciò che, nell'ideale pseudo-gotico dell'Alberti, erano i "nervi e legamenti" capaci di assicurare che tutti gli elementi potessero "prestarsi un reciproco soccorso", per usare questa volta le evocative (ma precise) parole di Rondelet.
Prescritti nelle Istruzioni di Bertola del 1749 (è il "telaro da formarsi tanto di longo che di traverso con grosse radici di rovere rosso"[7]) per il quartiere S. Tommaso, dove sono presenti alle quote del primo piano e del cornicione, per tutte le pareti perimetrali e le pareti interne longitudinali (figura 6), i radiciamenti sono confermati nelle Istruzioni successive anche per i quartieri S. Carlo e S. Michele (sicuramente alla quota del cornicione, per tutte le pareti perimetrali).
Il "telaro" di Bertola è elementare nella concezione ma la sua esecuzione a regola d'arte è a tal punto raffinata da destare lo stupore degli osservatori moderni, abituati a materiali e tecniche sempre più sofisticati ma sostanzialmente estranei al saper fare artigianale del cantiere storico che nulla lascia al caso: non il modo in cui i legni sono giuntati tra loro, non il loro ancoraggio terminale, non la loro sostituzione

bond them and create what, in Alberti's pseudo-Gothic ideal, were the "nerves and ligaments" capable of ensuring that all the elements could "come to each other's aid", to use Rondelet's evocative (yet precise) words.
Set out in Bertola's Instructions of 1749 (it is the "telaro to be formed both lengthwise and crosswise using large red oak roots"[7]) for the San Tommaso barracks, where they are found at the height of the first floor and cornice, for all the external walls and only the longitudinal internal ones (Figure 6), the radiciamenti are also confirmed in subsequent Instructions for the San Carlo and San Michele barracks (certainly at the height of the cornice, for the external walls).
Bertola's "telaro" is elementary in its design, but its workmanship is so refined as to astonish modern observers, who are accustomed to increasingly sophisticated materials and techniques but fundamentally distant form the craftsmanship of the historic building site, where nothing is left to chance: not the way the woods are joined together, not their terminal anchorage nor their replacement with metal elements where the flues cross.
The connections system is then completed by traditional metal tie-rods, embedded in the vaults or visible at the intrados, as refined in some construction solutions, such as the perfect intermediate joints with nails stopped by riveted pins, as carefully positioned so as not to preclude the possibility of building mezzanine floors in the large vaulted rooms during sieges.

The importance of connections in constructions in which the continuity and homogeneity of the building structure is functional to surviving the dynamic actions produced by shells, can also be seen in the foundations, where the system of "pilottaggi" - foundations on piles driven into the "light" soil (as the archival sources call the soft soil near the River Tanaro) - extends the same logic to the ground anchoring of the buildings as the radiciamenti used for the elevated parts and seems to be a transposition, in this case very literal, of the naturalistic metaphor of Scamozzi,



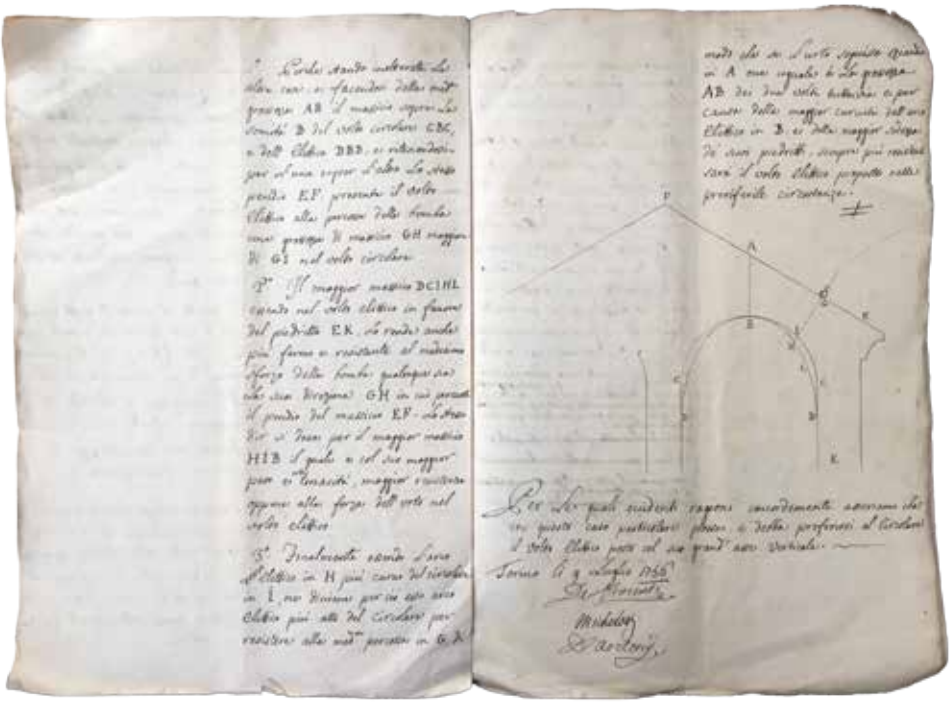
7. confronto tra i sistemi di fondazione di Bertola e Borra (disegno di E. Zanet) // comparison of the Bertola and Borra foundation systems (drawing by E. Zanet).

con elementi metallici in corrispondenza dell'attraversamento delle canne fumarie.
Il sistema di connessione è poi completato dai tradizionali incatenamenti metallici, immersi nelle volte o visibili alle reni, tanto raffinati in alcune soluzioni costruttive, come le perfette giunzioni intermedie con chiodi fermati mediante caviglie ribattute, quanto accuratamente posizionati per non precludere la possibilità di soppalcare le grandi sale voltate in occasione degli assedi.

L'importanza delle connessioni, all'interno di fabbriche nelle quali la continuità e omogeneità della compagine costruttiva è funzionale a garantire la sopravvivenza alle sollecitazioni dinamiche prodotte dall'urto delle bombe, si può rileggere anche a livello delle fondazioni dove il sistema dei "pilottaggi" – fondazioni su pali infissi nel terreno "leggero" (così è chiamato nelle fonti d'archivio il suolo cedevole in prossimità del Tanaro) – estende all'attacco a terra delle fabbriche la stessa logica dei radiciamenti usati per le parti in elevato e sembra una trasposizione, in questo caso davvero letterale, della metafora naturalistica di Scamozzi che paragonava le palificate alle radici, appunto, degli alberi.
Per gli edifici interni al perimetro fortificato sono stati riconosciuti due diversi sistemi di fondazione su pali. Il primo, descritto nelle Istruzioni generali di Bertola del 1732 e sostanzialmente riferibile alle classiche regole dimensionali e costruttive dei Trattati storici (Vitruvio, Alberti, Palladio) – in tema di snellezza (1/12) e interasse (almeno 2 diametri) dei pali e rapporto tra lunghezza dei pali e altezza dell'edificio (1/8) –, venne adottato nel quartiere S. Tommaso e riproposto, con varianti inessenziali (relative solo alla maggior lunghezza dei pali), nel S. Michele; il secondo, ideato da Giovanni Battista Borra e finalizzato a ottenere una maggiore condensazione del terreno ("che si fa colla molteplicità de' pali"), molto più articolato del precedente, venne adottato nel S. Carlo e nel palazzo del Governatore (figura 7).

who compared the piles to the roots of trees.
For the building inside the fortified enceinte, two different pile foundation systems were recognised. The first, outlined in Bertola's 1732 General Instructions and substantially in line with the classic dimensional and construction rules of the historical treatises (Vitruvius, Alberti, Palladio) - regarding the slenderness (1/12) and spacing (at least two diameters) of the piles and the ratio between pile length and building height (1/8) - was adopted in the San Tommaso barracks and proposed, with minor changes (relating only to increased piles length), in San Michele. The second, conceived by Giovanni Battista Borra and aimed at obtaining a greater ground condensation ("which is done by using a large number of piles"), was much more articulated than the previous one, and was adopted in San Carlo barracks and in the Governor's Palace (Figure 7).

The transition from the first to the second foundation system (which could only be reconstructed on the basis of archival sources) occurred at a crucial moment in the Citadel's history.
In October 1756, a foundation settlement in the San Tommaso barracks, which is still perfectly visible today, triggered the process that led to changing the pilottaggio system proposed by Bertola in favour of Borra's new system[8].
A few months earlier, between June and July, there had been an interesting scientific dispute over the best shape for the bomb-proof vaults, with the final choice of a raised elliptical profile (i.e. with the major axis of the ellipse placed vertically), which was adopted in the San Tommaso barracks (interrupting the circular profile that had just been sprung) and proposed again, with some rethinking, in subsequent barracks, starting with San Carlo[9]. (Figure 8).
The two events should be read as part of a general process of reorganisation of roles and redefinition of strategies following Bertola's death in 1755. At the same time, they indicate changes in the approach to design.
By the mid-eighteenth century, the time was



8. una delle perizie redatte in occasione del dibattito sulla miglior forma da assegnare alle volte alla prova (AST, Sezione Corte, Materie Militari, Imprese, m. 13) // one of the reports drawn up during the debate on the best form of bomb-proof vaults (AST, Sezione Corte, Materie Militari, Imprese, m. 13).

Il passaggio dal primo al secondo sistema di fondazione (che è stato possibile ricostruire esclusivamente sulla base delle fonti archivistiche) si colloca in un momento cruciale per la storia della Cittadella.
Nell'ottobre del 1756, un cedimento fondale verificatosi nel quartiere S. Tommaso, ancora oggi perfettamente riconoscibile con chiarezza da manuale, innescò il processo che portò alla modifica del sistema di pilottaggio proposto da Bertola in favore del nuovo sistema di Borra[8].
Qualche mese prima, tra giugno e luglio, si era svolta una interessante disputa scientifica sulla miglior forma da assegnare alle volte alla prova, con la scelta finale di un profilo a sesto ellittico rialzato (ovvero con l'asse maggiore dell'ellisse disposto verticalmente) che venne adottato già nel quartiere S. Tommaso (interrompendo il profilo circolare appena impostato) e riproposto, con qualche ripensamento, nei quartieri successivi, a partire da quello di S. Carlo[9]. (figura 8)
Le due vicende vanno lette all'interno di un generale processo di riassetto di ruoli e ridefinizione delle strategie conseguenti alla morte di Bertola, avvenuta nel 1755, e testimoniano al contempo di un mutato clima nell'approccio alla progettazione.
A metà Settecento i tempi erano ormai maturi per un più intimo coinvolgimento delle competenze statiche nella progettazione architettonica. E se per le fondazioni questo coinvolgimento non poteva, realisticamente, andare oltre una pur netta affermazione del ruolo imprescindibile della sperimentazione sul campo per la calibrazione delle caratteristiche tecniche e dimensionali dei pilottaggi, per le volte alla prova esso raggiunse livelli di straordinaria modernità.
Le argomentazioni emerse in occasione della disputa sul miglior profilo delle volte e i riferimenti alla letteratura scientifica dell'epoca dimostrano infatti come nel dimensionamento delle strutture murarie della Cittadella si sia fatto esplicitamente ricorso (tra le prime volte nella storia dell'architettura) a criteri di verifica strutturale, riconducibili non solo ai consolidati modelli di

ripe for greater involvement of static skills in architectural design. Although for the foundations this involvement could not, realistically, go beyond a clear affirmation of the indispensable role of on-field experimental tests for tuning the technical and dimensional characteristics of the pilottaggi, for the bomb-proof vaults, it reached levels of extraordinary modernity.
In fact, the arguments that emerged during the discussion over the best profile for the vaults and the references to the scientific literature of the time show how the masonry structures of the Citadel were explicitly designed (for one of the first times in the history of architecture) on the grounds of structural verification criteria that could be traced back not only to De La Hire's and Bélidor's[10] classic models on the statics of arches (which would be interesting in itself), but also to (by then recent) developments in ballistics, a science born in the middle of the century[11].
The bomb-proof vaults and their supports were 'calculated' on a strictly scientific basis, as shown by the surprising similarities in the dimensions of the cross-sections of the San Tommaso and San Carlo barracks with the figures of the example given in the *Architettura Militare*[12] by Alessandro Vittorio Papacino d'Antoni, who, not by chance, played a major role in the mid-century debate.

De La Hire e Bélidor[10] sulla statica degli archi (ciò che sarebbe già di per sé interessante) ma anche ai recenti sviluppi della balistica, scienza nata proprio alla metà del secolo[11].
Le volte a prova di bomba e i loro sostegni furono 'calcolati' su basi rigorosamente scientifiche, come dimostra la sorprendente coincidenza delle dimensioni delle sezioni trasversali dei quartieri S. Tommaso e S. Carlo con i valori dell'esempio riportato nell'*Architettura Militare*[12] di Alessandro Vittorio Papacino d'Antoni, non a caso uno dei protagonisti della disputa di metà secolo /

[1] A.V. Papacino d'Antoni, *Dell'Architettura Militare per le Regie Scuole Teoriche d'Artiglieria, e Fortificazione*, 6 vol. [il vol. 2, 1779, è di I.A. Bozzolino], Stamperia Reale, Torino 1759-1781. La citazione è in vol. I, p. 203.
[2] *Ibidem*, Lib. V, p. 206: "Che le muraglie, le quali sostengono le volte, siano sode a segno tale, che nelle scosse prodotte dagli urti i più violenti la fabbrica non precipiti, nè si fessuri".
[3] *Ibidem*: "Che le volte siano impenetrabili alla bomba, cioè a dire che non possano mai essere da quella perforate, né fessurate".
[4] *Istruzioni da applicarsi nella condotta delli travagli che si devono mandare in esecuzione nell'anno corrente 1732 a beneficio delle Fortificazioni di Alessandria*, Giuseppe Ignazio Bertola, 7 maggio 1732.
[5] Estese campagne sperimentali sulla resistenza delle malte sono riportate in Papacino d'Antoni, *Dell'Architettura Militare* …, op. cit. vol. 5, parte III.
[6] B. Vittone, *Istruzioni elementari per l'indirizzo dei giovani allo studio dell'architettura civile*, Lugano 1760.
[7] *Istruzioni per li travagli da farsi alla Cittadella del Borgo d'Alessandria nell'anno 1749*, Giuseppe Ignazio Bertola, 20 marzo 1749.
[8] Una discussione dettagliata dei sistemi di fondazione e della vicenda che dal sistema di Bertola condusse a quello di Borra è contenuta in: E. Piccoli, C. Tocci, E. Zanet, R. Caterino, *Building on water and the Modern State. Eighteenth century foundation techniques in the fortifications of Alessandria*, in J.W.P. Campbell et alii (a cura di), *Water, Doors and Buildings. Studies in the History of Construction*, Proceedings of the Sixth Conference of the Construction History Society (Cambridge, 5-7 aprile 2019), Cambridge 2019, pp. 358-373.
[9] Il dibattito sul profilo da assegnare alle volte alla prova è ricostruito in: E. Piccoli & C. Tocci, *A prova di bomba. Ingegneri, architetti e teorie sulle volte in un cantiere militare di metà Settecento*, ArcHistoR, anno VI (2019), 12.
[10] P. De La Hire, *Sur la construction des voûtes dans les edifices*, in Histoire de l'Académie Royale des Sciences, Année MDCCXII. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année, Imprimerie Royale, Paris 1731, pp. 69-77.
[11] B. Robins, *New Principles of Gunnery: Containing the Determination of the Force of Gun-powder, and an Investigation of the Difference in the Resisting Power of the Air to Swift and Slow Motions. With Several Other Tracts on the Improvement of Practical Gunnery*, Nourse, London 1742.
[12] Papacino d'Antoni, *Dell'Architettura Militare* …, op.cit., Libro I, p. 208.

[1] A.V. Papacino d'Antoni, *Dell'Architettura Militare per le Regie Scuole Teoriche d'Artiglieria, e Fortificazione*, 6 vol. [vol. 2, 1779, is by I.A. Bozzolino], Stamperia Reale, Torino 1759-1781. The quotation is in vol. I, p. 203.
[2] *Ibidem*, Lib. V, p. 206: "That the walls, which support the vaults, are firm enough so that in the shakes produced by the most violent shocks the building does not collapse or crack".
[3] *Ibidem*: "That the vaults are bomb-proof, i.e. that they can never be penetrated or shattered by shells".
[4] *Istruzioni da applicarsi nella condotta delli travagli che si devono mandare in esecuzione nell'anno corrente 1732 a beneficio delle Fortificazioni di Alessandria*, Giuseppe Ignazio Bertola, 7 maggio 1732.
[5] Extensive experimental tests on the tensile strength of mortars are documented in Papacino d'Antoni, *Dell'Architettura Militare* …, op. cit. vol. 5, parte III.
[6] B. Vittone, *Istruzioni elementari per l'indirizzo dei giovani allo studio dell'architettura civile*, Lugano 1760.
[7] *Istruzioni per li travagli da farsi alla Cittadella del Borgo d'Alessandria nell'anno 1749*, Giuseppe Ignazio Bertola, 20 marzo 1749.
[8] A detailed discussion of the foundation systems and the sequence of events that led from Bertola's system to Borra's can be found in: E. Piccoli, C. Tocci, E. Zanet, R. Caterino, *Building on water and the Modern State. Eighteenth century foundation techniques in the fortifications of Alessandria*, in J.W.P. Campbell et alii (ed.), *Water, Doors and Buildings. Studies in the History of Construction*, Proceedings of the Sixth Conference of the Construction History Society (Cambridge, 5-7 aprile 2019), Cambridge 2019, pp. 358-373.
[9] The debate on the profile to be given to the vaults is reconstructed in: E. Piccoli & C. Tocci, *A prova di bomba. Ingegneri, architetti e teorie sulle volte in un cantiere militare di metà Settecento*, ArcHistoR, anno VI (2019),12.
[10] P. De La Hire, *Sur la construction des voûtes dans les edifices*, in Histoire de l'Académie Royale des Sciences, Année MDCCXII. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année, Imprimerie Royale, Paris 1731, pp. 69-77.
[11] B. Robins, *New Principles of Gunnery: Containing the Determination of the Force of Gun-powder, and an Investigation of the Difference in the Resisting Power of the Air to Swift and Slow Motions. With Several Other Tracts on the Improvement of Practical Gunnery*, Nourse, London 1742.
[12] Papacino d'Antoni, *Dell'Architettura Militare* …, op.cit., Libro I, p. 208.

indagini geofisiche-archeologia preventiva /
/ geophysical surveys and preventive archaeology

L'obiettivo della ricerca è stato rilevare strutture, o indizi di strutture sepolte, ascrivibili a edifici o manufatti del preesistente rione Bergoglio sotto la attuale Cittadella di Alessandria.
Per raggiungerlo, si è scelto di effettuare un rilievo georadar che interessasse l'area della Piazza d'Armi compresa dall'alberata interna circondante la piazza stessa. Secondo una possibile ricostruzione proposta da E. Piccoli et al., 2018, (E. Piccoli, C. Tocci et al.: *Cittadella di Alessandria. Storia dell'architettura e della costruzione. Relazione intermedia*, luglio 2018) al di sotto dell'area scelta dovrebbero esserci tracce di mura esterne ed interne di alcuni edifici del Bergoglio (fig. 1).

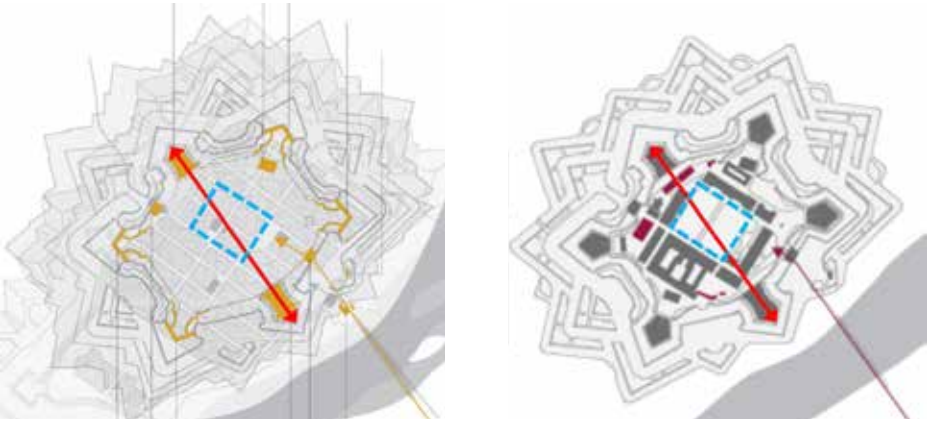
L'estensione delle aree da investigare, e l'apparecchiatura scelta all'inizio della campagna, hanno reso necessario l'accesso al sito in giorni diversi. Nel complesso sono state effettuate 7 campagne di misura in un arco temporale che va dal maggio 2018 all'ottobre 2020. Il cambio di condizioni fisiche del suolo, dovuto ad eventi meteorologici intercorsi tra un accesso ed il successivo ha variato la risposta del georadar. Questa condizione, pur rendendo leggibili le aree acquisite in ogni campagna, non ha permesso una rappresentazione ed una lettura uniforme del complesso dei dati relativi a tutte le campagne. Per questa ragione, si è effettuata una campagna definitiva nell'ottobre del 2020 con un'apparecchiatura acquisita appositamente, che consentisse l'acquisizione dei dati su tutta l'area in una sola giornata, limitando al massimo la variabilità delle condizioni del suolo. In questo lavoro sono illustrati procedimenti e risultati relativi a quest'ultima campagna.
Le ricerche, sulla base della semplicità di esecuzione e delle ipotesi storiche, si sono concentrate sul piazzale (rettangolo bordato in rosso) e su un'area contigua al recinto giochi (rettangolo bordato in blu), come schematizzato in figura 2.

/ The aim of the research was to detect structures or indications of buried structures ascribable to buildings or artefacts belonging to the pre-existing Bergoglio district under the present-day Cittadella of Alessandria. In order to achieve this, a ground-penetrating radar survey was conducted, covering the area of the parade ground, including the surrounding inner tree line. According to a possible reconstruction proposed by E. Piccoli et al., 2018, (E. Piccoli, C. Tocci et al.: *Cittadella di Alessandria. Storia dell'architettura e della costruzione. Relazione intermedia*, July 2018), beneath the selected area there should be traces of external and internal walls of some of the Bergoglio buildings (fig. 1).

The extent of the areas to be investigated, and the equipment chosen at the beginning of the survey, meant access to the site was required on different days. A total of seven measurement sessions were conducted over a period from May 2018 to October 2020. Changes in physical ground conditions due to weather events between one session and the next varied the ground-penetrating radar response. This condition, while making the areas acquired in each survey readable, did not allow for a uniform representation and reading of all the data from all the surveys. For this reason, a final survey was conducted in October 2020 with special equipment that would allow data to be acquired over the entire area in a single day, limiting the variability of ground conditions as much as possible. This paper presents the procedures and results of this latest survey.
Based on the simplicity of execution and historical hypotheses, the research focused on the parade ground (rectangle bordered in red) and an area adjacent to the playground (rectangle bordered in blue), as shown in figure 2.

sottosuolo // underground

Luigi Sambuelli, Chiara Colombero, Diego Franco



1. E. Piccoli, C. Tocci et al.: *Cittadella di Alessandria. Storia dell'architettura e della costruzione. Relazione intermedia*, luglio 2018. A sinistra, Tav.4.3|a, a destra Tav. 4.3|d. Secondo la sovrapposizione spaziale proposta, il riquadro blu definirebbe l'area maggiore scansita con il GPR // E. Piccoli, C. Tocci et al.: *Cittadella di Alessandria. Storia dell'architettura e della costruzione. Relazione intermedia*, July 2018. On the left, Table 4.3|a, on the right, Table 4.3|d. According to the proposed spatial overlay, the blue box would define the largest area scanned using GPR.

2. aree interessate dalle campagne georadar (piazzale principale, in rosso, area contigua al gioco per bambini, in blu) // areas involved in ground-penetrating radar surveys (parade ground, in red, area adjacent to the children's playground, in blue).

Acquisizione
Nella campagna di ottobre 2020, l'acquisizione georadar ha interessato la totalità delle aree di studio riportate in figura 2: piazzale centrale e area contigua al parco giochi. L'acquisizione è stata effettuata con un radar multi-canale IDS Stream-C costituito da 23 antenne da 600 MHz polarizzate parallelamente al profilo (VV) e da 9 antenne da 600 MHz polarizzate ortogonalmente al profilo (HH). Questa configurazione ha permesso di ottenere dei tempi di acquisizione molto più rapidi delle campagne precedenti (2 giorni totali), per minimizzare le variazioni delle condizioni fisiche del suolo. La direzione dei profili in acquisizione è stata NNE-SSW. I parametri di acquisizione adottati sono riportati in Tabella 11.

Elaborazione
I profili VV e HH acquisiti sono stati elaborati sul software IDS dedicato alle indagini multicanali IQMaps (versione 1.1) secondo i seguenti passi: filtro passabanda da 150 a 1500 MHz per attenuare il rumore fuori dalla banda propria dell'antenna; annullamento del ritardo strumentale all'inizio di ogni traccia; rimozione delle riflessioni continue orizzontali per eliminare rumori elettronici in acquisizione, utilizzando una finestra mobile di 20 m (per VV) e 10 m (HH) sia lungo traccia che in direzione ortogonale (tra i vari dipoli di acquisizione); guadagno automatico con la profondità per recuperare l'ampiezza del segnale attenuato per effetti fisici legati al materiale in cui l'impulso si propaga; migrazione in dominio di tempo per migliorare la risoluzione spaziale e collassare le iperboli di diffrazione presenti nei radargrammi; calcolo del valore assoluto dell'ampiezza di riflessione; smoothing delle ampiezze con la profondità, con una finestra mobile di 2 ns.
Per approfondire l'interpretazione ed avere un confronto diretto con le indagini già realizzate in sito, gli stessi profili multicanale VV e HH acquisiti durante l'ultima campagna d'indagine sono stati elaborati anche con il software ReflexW 9.5. L'elaborazione ha previsto i

Acquisition
In the October 2020 survey, the ground-penetrating radar acquisition covered all the study areas shown in figure 2: the central parade ground and the area adjacent to the playground. Acquisition was conducted using an IDS Stream-C multi-channel radar consisting of 23 600 MHz antennae polarised parallel to the profile (VV) and 9 600 MHz antennae polarised orthogonally to the profile (HH). This configuration allowed for much faster acquisition times than previous sessions (two days in total), minimising variations in physical ground conditions. The direction of the profiles acquired was NNE-SSW. The acquisition parameters adopted are shown in Table 11.

Processing
The acquired VV and HH profiles were processed in the IDS software dedicated to multi-channel surveys, IQMaps (version 1.1) as follows: 150 to 1500 MHz bandpass filter to attenuate noise outside the antenna's own band; cancellation of the instrumental delay at the beginning of each trace; removal of continuous horizontal reflections to eliminate electronic noise in acquisition, using a moving window of 20 m (for VV) and 10 m (HH), both along the trace and in the orthogonal direction (between the various acquisition dipoles); automatic gain with depth to recover the amplitude of the signal attenuated by physical effects related to the material in which the pulse propagates; migration in time domain to improve spatial resolution and collapse the diffraction hyperbolas in the radargrams; calculation of the absolute value of the reflection amplitude; smoothing of the amplitudes with depth, with a 2 ns moving window.
In order for in-depth interpretation and a direct comparison with the surveys already conducted on site, the same VV and HH multi-channel profiles acquired during the last survey were also processed using the ReflexW 9.5 software. The processing involved the following steps: dewow, an operation to remove the continuous

seguenti passi: dewow, un'operazione per eliminare la componente continua del segnale e togliere basse frequenze di origine strumentale; annullamento del ritardo strumentale all'inizio di ogni traccia (con una correzione di fase delle tracce acquisite e una rimozione aggiuntiva del ritardo rimanente); taglio delle tracce a 50 ns per ridurre i campioni senza perdita di informazione; rimozione delle riflessioni continue orizzontali per eliminare rumori elettronici in acquisizione; recupero dell'attenuazione con la profondità dovuta alla divergenza del segnale; filtro passabanda da 150 a 1050 MHz per attenuare il rumore fuori dalla banda propria dell'antenna.

Risultati e commenti

I 118 profili ottenuti per il piazzale centrale e gli 8 appartenenti all'area contigua al parco giochi sono stati assemblati nello spazio, secondo le coordinate di acquisizione, per ottenere i volumi dei dati. I volumi sono stati sezionati a tempi costanti per ottenere delle sezioni "orizzontali" (timeslice), in profondità, della intensità di riflessione. Nella figura 3 è riportata la timeslice a circa 0.4 m di profondità ottenuta dall'elaborazione dei dati delle antenne VV con il software IQMaps. Nella figura 4 sono riportate timeslice a varie profondità ottenute con dall'elaborazione dei dati HH e VV con il software ReflexW 9.5.

I risultati ottenuti in quest'indagine confermano quanto evidenziato nelle precedenti campagne di misura in termini di strutture e allineamenti sotterranei individuati: una struttura rettilinea allungata con orientamento circa EW da circa 0.3 m a 0.6 m di profondità (fig. 3 e 4 in alto); due aree circa quadrate ad alta riflessione nella parte più orientale del piazzale principale, ubicate rispettivamente a NE e SW dell'anomalia precedente e a profondità comparabili (fig. 3 e 4 in alto); una struttura allungata in direzione SW-NE, intersecante il vertice NE del piazzale principale da circa 0.9 a 1.2 m di profondità (figura 4 in basso a destra), particolarmente

component of the signal and remove low frequencies of instrumental origin; cancellation of the instrumental delay at the beginning of each trace (with a phase correction of the acquired traces and an additional removal of the remaining delay); trimming of the traces to 50 ns to reduce samples without loss of information; removal of continuous horizontal reflections to eliminate electronic noise in acquisition; recovery of attenuation with depth due to signal divergence; 150 to 1050 MHz bandpass filter to attenuate noise outside the antenna's own band.

Results and comments

The 118 profiles obtained for the central parade ground and the eight belonging to the area adjacent to the playground were assembled in space, according to the acquisition coordinates, to obtain the data volumes. The volumes were sectioned at constant times to obtain 'horizontal' (timeslice) sections, in depth, of the reflection intensity. Figure 3 shows the timeslice at a depth of approximately 0.4 m obtained by processing the VV antenna data using the IQMaps software. Figure 4 shows timeslices at various depths obtained by processing HH and VV data using the ReflexW 9.5 software.

The results obtained in this investigation confirm the findings of the previous measurements taken in terms of the structures and underground alignments identified. There is: an elongated rectilinear structure with an approximate EW orientation from approximately 0.3 m to 0. 6 m deep (figures 3 and 4 above); two approximately square areas of high reflection in the easternmost part of the main parade ground, located respectively to the NE and SW of the previous anomaly and at comparable depths (figures 3 and 4 above); an elongated structure in a SW-NE direction, intersecting the NE apex of the main parade ground square from approximately 0.9 to 1.2 m depth (figure 4 bottom right), particularly visible in the HH profiles; and a linear structure in approximately NW-SE direction at a variable

visibile nei profili HH; una struttura lineare in direzione circa NW-SE ad una profondità variabile, intorno a 0.6 m (fig. 3 e fig. 4 al centro). Il radar multicanale ha permesso di individuare alcune altri eventi potenzialmente interessanti. Da circa 0.3 a 0.6 m di profondità, si osservano elementi di riflessione puntiformi allineati in sequenza a distanza regolare in direzione NE-SW (cfr. area azzurra in fig. 5, visibili anche nel dettaglio in fig. 6). Nella porzione più a nord dell'area contigua al parco giochi si può inoltre riconoscere una struttura tendenzialmente semicircolare a bassa ampiezza di riflessione che si estende in profondità da 0.4 m a 0.7 m all'interno di un'area ad alta ampiezza di riflessione. Un particolare relativo a queste aree è riportato in figura 6, insieme ad altre strutture lineari ad andamento NW-SE poste più a sud, aventi lo stesso orientamento dell'area quadrata ad alta riflessione presente a W all'interno del piazzale principale. A profondità intermedie (0.6-0.9 m) al di sotto dell'anomalia principale ad orientamento EW, nell'area est del piazzale principale è presente, infine, un'anomalia ad alta ampiezza di riflessione di forma circa rettangolare (fig. 5, a sinistra, e fig. 4 in alto ed al centro).

Considerazioni generali e contributi

La campagna di indagine ha permesso di evidenziare interessanti e circoscritti allineamenti nelle anomalie della riflessione del segnale georadar con diversa orientazione spaziale e profondità. I risultati non hanno messo in luce la presenza diffusa di allineamenti regolari, fitti e ortogonali ascrivibili a resti murari sepolti degli edifici del rione Bergoglio, che potrebbero pertanto essere stati quasi totalmente distrutti in passato. Elementi di questo tipo, con allungamento parallelo all'asse maggiore del piazzale principale, sono circoscritti alla parte meridionale dell'area contigua al parco giochi, mentre nel piazzale principale sono generalmente presenti aree rettangolari ad intensità di riflessione omogenea all'interno, con orientazione analoga ma di incerta

depth, around 0.6 m (fig. 3 and fig. 4 middle). The multi-channel radar made it possible to identify some other potentially interesting events. From approximately 0.3 to 0.6 m depth, point reflections are observed aligned in sequence at regular intervals in the NE-SW direction (see blue area in fig. 5, also visible in detail in fig. 6). In the northernmost part of the area adjoining the playground, a generally semi-circular structure with low reflection widths can also be recognised, extending in depth from 0.4 m to 0.7 m within an area of high reflection widths. These areas are shown in detail in figure 6, together with other NW-SE linear structures to the south, which have the same orientation as the highly reflective square area to the west within the main parade ground. Finally, at intermediate depths (0.6-0.9 m) below the main EW-oriented anomaly, a high amplitude anomaly of approximately rectangular shape is found in the eastern area of the main parade ground (fig. 5, left, and fig. 4, top and centre).

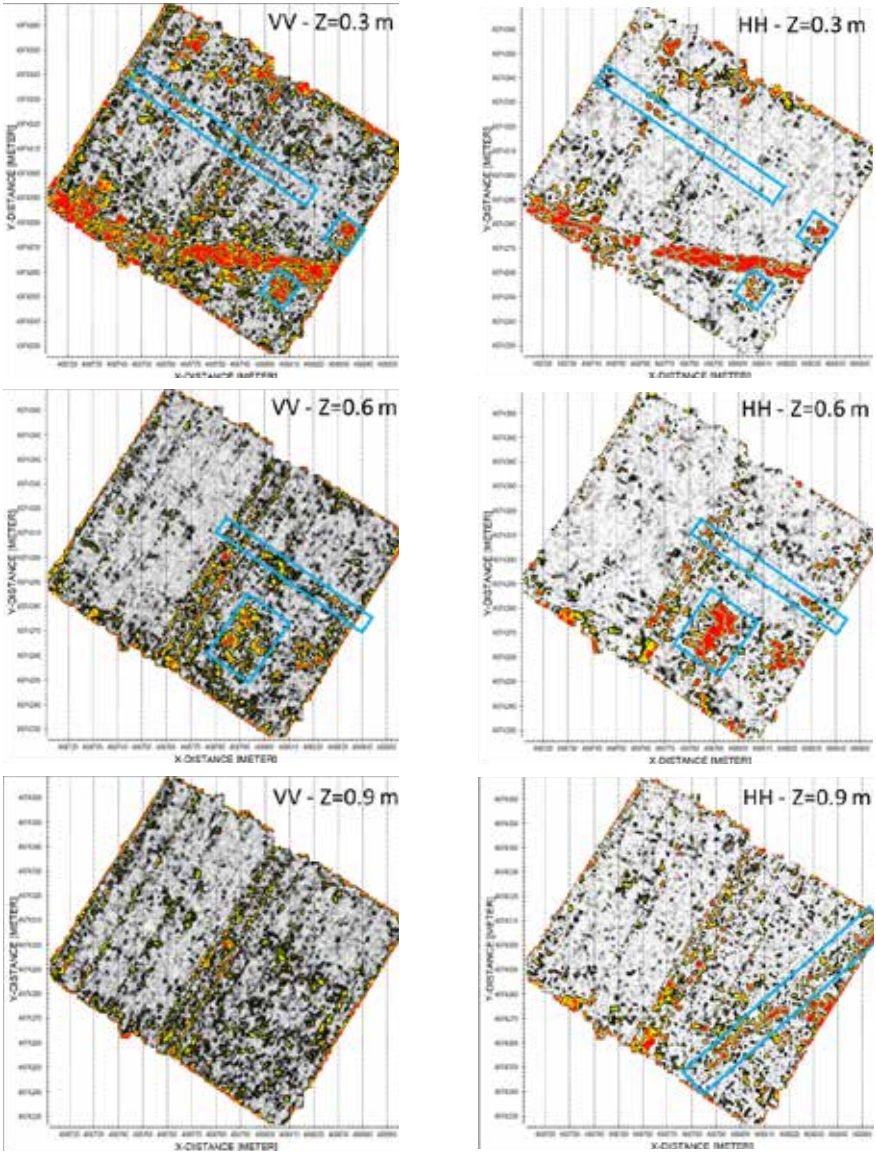
General considerations and contributions

The survey revealed interesting and limited alignments in the ground-penetrating radar signal reflection anomalies with different spatial orientation and depth. The results did not reveal the widespread presence of regular, dense and orthogonal alignments attributable to buried wall remains of buildings in the Bergoglio district, which may therefore have been almost completely destroyed in the past. Elements of this type, with elongation parallel to the major axis of the main parade ground, are confined to the southern part of the area adjoining the playground, while in the main parade ground there are generally rectangular areas of homogeneous reflection intensity in the interior, with similar orientation but of uncertain interpretation. The presence of less regular high-amplitude reflection anomalies in the main parade ground area could suggest the presence of buried rubble piles. The most obvious anomaly, present in the southern part of the main parade ground, appears to be elongated in the

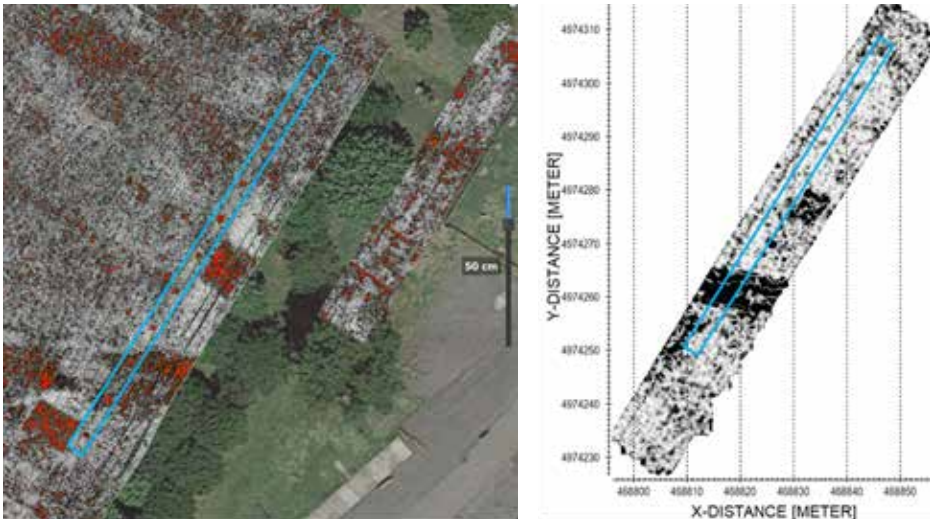
Poligono	Lunghezza del profilo [m] / / Profile length [m]	Intervallo tra le tracce lungo un profilo [m] / / Trace spacing along the profile [m]	Durata della traccia [ns] / / Trace duration [ns]	Numero di campioni per traccia / / Number of samples per trace	Intervallo di campiona-mento [ns] / / Sampling interval [ns]	Frequenza di campio-namento [GHz] / / Sampling frequency [GHz]	Intervallo tra i profili [m] / / Interval between profiles [m]	Numero di profili / / Number of profiles	Lunghezza totale dei profili [m] / / Total profile length [m]
Piazza centrale // Central square	100	0.04	64	512	0.125	8	1	118	11800
Area Giochi // Playground	50	0.04	64	512	0.125	8	1	8	400

Tab. 11. parametri di acquisizione georadar, campagna ottobre 2020. Nota: il dato si riferisce alla lunghezza dei metri percorsi, non alla lunghezza totale delle tracce radar acquisite. Questa, infatti, si ottiene moltiplicando questa lunghezza per il numero di antenne (32), ottenendo così un totale di circa 377 km di tracce radar // ground-penetrating radar acquisition parameters, October 2020 survey. Note: the figure refers to the length of metres travelled, not the total length of radar traces acquired. This is obtained by multiplying this length by the number of antennae (32), resulting in a total of approximately 377 km of radar traces.

3. timeslice a una profondità stimata di 0.4 m per profili VV (velocità di propagazione 0.07 m/ns). Elaborazione con software IQMaps. Le aree con i contorni gialli e azzurro evidenziano gli eventi di maggior interesse // timeslice at an estimated depth of 0.4 m for VV profiles (propagation velocity 0.07 m/ns). Processing with IQMaps software. The areas outlined in yellow and blue highlight the most interesting events.



4. timeslices ad una profondità stimata di 0.3 m, 0.6 m, 0.9 m (dall'alto in basso), per profili VV (sinistra) e HH (destra) (velocità di propagazione 0.07 m/ns). Elaborazione con software ReflexW 9.5. I rettangoli azzurri evidenziano gli eventi di maggior interesse // timeslices at an estimated depth of 0.3 m, 0.6 m, 0.9 m (from top to bottom), for VV (left) and HH (right) profiles (propagation velocity 0.07 m/ns). Processing with ReflexW 9.5 software. The blue rectangles highlight the most interesting events.



5. timeslice ad una profondità stimata di 0.5 m (IQMaps, sinistra – ReflexW, destra), per profili VV (velocità di propagazione 0.07 m/ns). I rettangoli azzurri evidenziano gli eventi di maggior interesse // timeslice at an estimated depth of 0.5 m (IQMaps, left - ReflexW, right) for VV profiles (propagation velocity 0.07 m/ns). The blue rectangles highlight the most interesting events.

interpretazione. La presenza di anomalie meno regolari ad alta ampiezza di riflessione nell'area del piazzale principale potrebbe suggerire la presenza di cumuli di macerie sepolte. L'anomalia più evidente, presente nella parte meridionale del piazzale principale, risulta essere allungata in direzione EW, non in asse con l'assetto della piazza. Le dimensioni, la localizzazione spaziale e l'orientazione di questo elemento sembrano essere ascrivibili a una via sepolta di collegamento rapido tra la Porta Asti e la Porta Alessandria della Cittadella. Peculiari e di incerta interpretazione rimangono le anomalie di riflessione puntiformi e regolali individuate nella parte orientale del piazzale principale, con andamento circa NE-SW, e l'anomalia semicircolare a bassa ampiezza di riflessione nell'area contigua al parco giochi.
Come si può notare alcuni eventi riflettenti compaiono in certe sezioni e non in altre analoghe. Questo può essere dovuto sia a mutate condizioni del suolo, sia a passi di elaborazione che hanno evidenziato diversamente le riflessioni presenti nei dati. Per il calcolo delle profondità sono state usate due diverse velocità di propagazione dell'impulso radar: 0.065 m/ns e 0.07 m/ns. Questi due valori differiscono di circa il 7% e possono avere una spiegazione fisica relativa alle mutate condizioni del suolo.
Si vuole infine evidenziare la quantità di informazione raccolta sulle aree investigate, principalmente pensando all'apparecchiatura multicanale che acquisisce contemporaneamente 32 tracce radar. Come indicato nella nota di Tabella 1, la distanza totale coperta dalle acquisizioni georadar nella campagna di ottobre 2020 è pari a 377 km. L'area scansita è pari a circa 105x95=9975 m^2; questo significa che in ogni m^2 sono stati acquisiti circa 38 m di tracce radar.

EW direction, not aligned with the axis on which the parade ground is laid out. The dimensions, spatial location and orientation of this element seem to be ascribable to a buried route quickly connecting the citadel's Porta Asti and Porta Alessandria gates. Peculiar and of uncertain interpretation are the punctiform and regular reflection anomalies identified in the eastern part of the main parade ground, with a NE-SW trend, and the semi-circular anomaly with low-reflection amplitude in the area adjacent to the playground. As can be seen, some reflective events appear in certain sections and not in similar ones. This may be due either to changed ground conditions or to processing steps which highlighted the reflections in the data differently. Two different radar pulse propagation speeds were used to calculate the depths: 0.065 m/ns and 0.07 m/ns. These two values differ by about 7% and may have a physical explanation related to changing ground conditions.
Finally, it is worth highlighting the amount of information collected in the areas investigated, mainly by using multi-channel equipment that acquires 32 radar traces simultaneously. As indicated in the note in Table 1, the total distance covered by ground-penetrating radar acquisitions in October 2020 is 377 km. The scanned area is approximately 105x95=9975 m^2; this means that in each m^2 approximately 38 m of radar traces were acquired.

6. particolare dell'area contigua al parco giochi della timeslice a profondità stimata di 0.5 m per il profilo VV (velocità di propagazione 0.07 m/ns). Il cerchio e le frecce gialle evidenziano gli eventi di maggior interesse // detail of the area adjacent to the timeslice playground at an estimated depth of 0.5 m for the VV profile (propagation velocity of 0.07 m/ns). The circle and yellow arrows highlight the events of most interest.