

RELAZIONE SULLE INDAGINI DIAGNOSTICHE EFFETTUALE DELLA TECNO FUTURE SERVICE (TFS) NELLA CATTEDRALE DI SANTA MARIA DI CAPODISTRIA (SLOVENIA)¹

Giancarlo MASELLI

dott., Tecno Futur Service s.r.l., 41030 Bomporto Modena, Via per Modena 20, IT
dipl. hum., Tecno Futur Service s.r.l., 41030 Bomporto Modena, Via per Modena 20, IT

Fernando MONTI

Tecno Futur Service s.r.l., 34100 Trieste, Str. di Cattinara 22, IT
Tecno Futur Service s.r.l., 34100 Trst, Str. di Cattinara 22, IT

SINOSI

Gli autori descrivono le prove non distruttive applicate dalla Tecno Futur Service nel 1994 nella cattedrale e nel battistero di Capodistria. L'indagine georadar del suolo e l'analisi termografica delle pareti hanno portato alla luce un'immagine piuttosto complicata dell'edificio, causa dei molti interventi succedutisi attraverso 700 anni. Grazie alle ricerche è stato possibile distinguere i materiali impiegati, oggi nascosti sotto gli intonaci e il pavimento e il loro stato fisico (umidità, struttura). L'interpretazione dei risultati conferma parzialmente quelli offerti dall'analisi storica e dagli interventi operati dagli archeologi.

Prima di affrontare il tema dei controlli non distruttivi da noi effettuati nel Duomo di Capodistria, ci permettiamo un breve cenno in merito a tutto quello che la ns. Società può offrire sul mercato in quanto a indagini diagnostiche o prove non distruttive (P.N.D.).

Da oltre 15 anni la TFS esegue analisi diagnostiche e strumentali sui beni culturali e sul costruito in supporto ai tecnici di Enti Pubblici e privati.

L'elevata qualificazione del ns. personale e l'alto contenuto tecnologico delle apparecchiature utilizzate sono maturati negli ambienti di ricerca e sviluppo in molteplici settori della vita economica della Nazione, quali il restauro ed il recupero storico-artistico-monumentale, recupero e manutenzione nell'edilizia civile ed industriale, strutture in cemento armato, collaudi strutturali, controllo di qualità nel costruito.

Il servizio tecnico e le consulenze avvengono attraverso indagini diagnostiche e strutturali, con rilievi fotografici, indagini diagnostiche e georadar, indagini termografiche, soniche ed ultrasoniche, magnetomet-

riche ed endoscopiche, prove con martinetti piatti, monitoraggi microclimatici e strutturali, prove statiche e dinamiche di carico, carotaggi, prove ed analisi di laboratorio e verifiche progettuali col metodo degli elementi finiti.

Diversi ed articolati sono anche i servizi che consistono in una assistenza tecnica specializzata nella programmazione delle analisi diagnostiche conoscitive, nella preparazione delle voci di capitolato per gare d'appalto o per una progettazione integrata; disponibilità d'intervento delle squadre diagnostiche anche per lavori di piccola entità (1 o 2 giornate lavorative).

La situazione di crisi economica recentemente creata nel mondo, impone interventi di spesa pubblica e privata sempre meno onerosi e sempre più trasparenti.

A tale proposito è giusto far ricadere l'attenzione sull'analisi nella progettazione, intesa come prima e vera fase d'intervento. Una fase questa che, a seconda della sua bontà, può influire positivamente o negativamente sull'esito dell'intervento vero e proprio.

¹ Lavori sovvenzionati dalla Curia Vescovile di Capodistria e dal Ministero della Cultura della Slovenia, 21-24 Marzo e 7 Aprile. I responsabili dei lavori F. Monti e dott. G. Maselli. - Una conferenza con un riassunto dei risultati fu organizzata dalla Parrocchia, dalla TFS e dal Museo regionale di Capodistria il 3 giugno 1994, con partecipazione dei signori dott. G. Maselli e F. Monti ed esperti sloveni e croati.

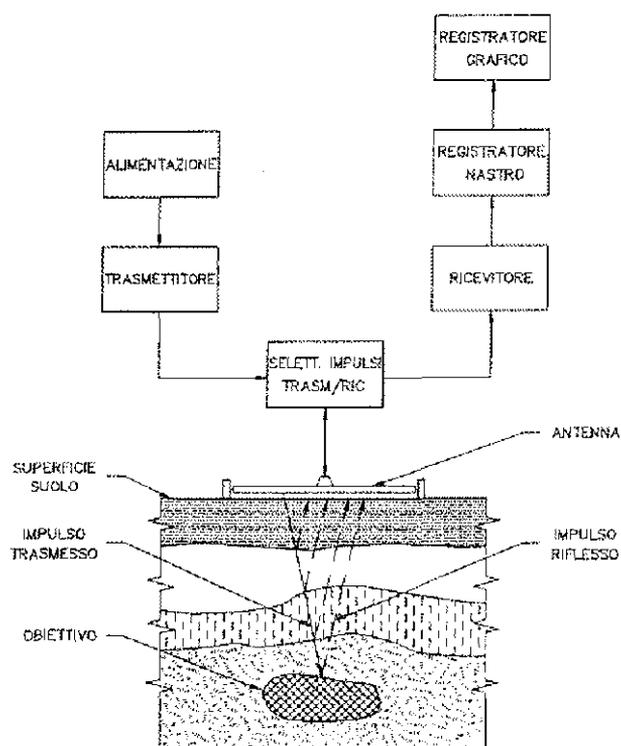


Fig. 1. Diagramma a blocchi del sistema G.P.R. (Ground Probing Radar).

Non è facile né semplicemente immaginabile l'importanza basilare di una diagnosi quanto mai mirata e precisa su un qualsivoglia progetto di restauro conservativo o consolidamento di un bene culturale o di un manufatto civile. Le indagini espletate dalla ns. Società dovrebbero essere considerate doverosamente e preminentemente insite e strategicamente integrate in ogni progetto di restauro architettonico o civile e situate in una ben definita fase antecedente la stesura del progetto stesso. Salta all'attenzione di tutti che una diagnosi quanto mai approfondita dello stato di degrado dell'oggetto, porta inevitabilmente ad una stesura del relativo progetto di restauro quanto mai mirato, preciso, e, fattore non trascurabile, ad un sicuro abbattimento dei costi dell'operazione! In quanto, con questi controlli mirati, è possibile risalire alle cause di degrado e prescrivere i rimedi.

In sintesi abbiamo parlato di un sistema integrato che prende il nome di PROGETTAZIONE PILOTATA che non serve ad altro che a proporre una scelta ottimale delle operazioni, attraverso l'acquisizione di dati tecnico - conoscitivi, e che rappresenta una costante in termini di costi, mentre le tecniche di lavorazione e le materie prime impiegate sono fattori dinamici e flessibili. Quindi la progettazione pilotata prende corpo attraverso un'analisi scientifica dello stato di fatto delle

opere, finalizzata all'enunciazione di un quadro patologico globale. Da questo si evince l'importanza assoluta di una diagnosi preprogettuale. Nel caso poi specifico di uso del georadar, salta subito all'attenzione la sua importanza, soprattutto nella fase preliminare all'effettuazione di scavi, ad uso urbano, in zone a rischio archeologico, in quanto ritrovamenti di strutture ed oggetti di interesse storico in aree adibite ad utilizzo urbanistico hanno sempre causato impedimenti ad un normale svolgimento dei lavori, bloccando in qualche caso ogni attività dei cantieri, fino alla liberalizzazione delle aree dal cosiddetto rischio archeologico, e ciò in particolare per tracciati stradali, aeroporti e parcheggi sotterranei che insistono sui centri storici cittadini. L'esecuzione quindi di tali indagini fornisce a priori quegli elementi di valutazione per eventuali varianti progettuali.

Inoltre, tale tipo di prospezione G. P. R. è oggi di uso comune per la ricerca archeologica in senso stretto e cioè per identificare e ricostruire l'andamento delle strutture sepolte, avvalendosi in questo dell'assistenza di esperti nel campo sto; notate sul muro di origine rinascimentale e che avevano un'andamento quasi parallelo al piano stradale. È dato che, internamente, nella Chiesa era in atto un vistoso fenomeno di cedimento di alcuni gradini di marmo vicini a detto muro, si voleva capire se ciò non fosse dovuto ad un possibile fenomeno di cedimento delle fondazioni. Fummo contattati dal parroco don A. Skapin e dal archeologo, prof. M. Župančić per una ipotesi di controlli suppletivi da effettuarsi con i raggi infrarossi a compendio delle loro indagini, e cogliere nello stesso tempo l'occasione per effettuare un sondaggio Georadar al fine di ottenere dati sull'esistenza di antiche strutture sotto l'impiantito della Chiesa stessa. Dopo alcuni incontri interlocutori fummo incaricati ufficialmente dei lavori, finalizzati a due ben precisi obiettivi:

1) un'analisi termografica su complessivi mq 200 della parete sud - ovest della Chiesa, sia internamente che esternamente, corrispondente alla zona lesionata, in modo da ottenere una mappatura del quadro fessurativo nascosto sotto gli intonaci, per una valutazione globale del plesso fessurativo.

2) una indagine col Georadar con la realizzazione di un reticolo di m. 2 x 2 atto ad individuare, sotto il pavimento, eventuali tracce sotterranee di epoche precedenti.

Per l'analisi di cui al punto 1), ci siamo serviti di un'apparecchiatura portatile all'infrarosso del tipo "AGA - THERMOVISION 782" dotata di ottiche intercambiabili al germanio da 7 x 7 e 20 x 20 gradi.

Questa tecnica permette d'individuare e visualizzare la composizione fisica delle strutture eludendo la presenza superficiale dell'intonaco; la metodologia

applicativa prevede l'osservazione delle superfici da analizzare quando esse vengono a trovarsi in condizioni termocinetiche evolutive (riscaldamento o raffreddamento del corpo da analizzare).

L'impulso termico alla muratura viene realizzato mediante convezione d'aria calda sulle superfici interne e altri menti sfruttando l'irraggiamento solare su quelle esterne.

La dotazione prevede una telecamera che consente la visualizzazione all'infrarosso in tempo reale, con la possibilità di scattare fotografie istantanee di immagini significative e di videoregistrarle per ottenere l'elaborazione computerizzata in mappa termica, che consente uno studio particolareggiato di situazioni termiche significative.

Praticamente si ha, con queste indagini, la possibilità di rilevare:

- 1) la costituzione della maglia muraria con individuazione e diversificazione dei suoi componenti (mattoni, pietrame, elementi lignei o metallici)
- 2) lesioni nella muratura nascoste sotto l'intonaco.
- 3) elementi architettonici celati sotto l'intonaco (aperture, archi, tamponamenti, architravi, vecchie canne fumarie ecc.).

Per le analisi di cui al punto 2) ci siamo serviti di una metodologia basata sul sistema G.P.R. (GROUND PROBING RADAR) e di una strumentazione SIR SYSTEM 10 costituita da:

MAINFRAME mod. MF10 che contiene il sistema di generazione dell'impulso radar interamente gestito da un microprocessore 80286, il quale mediante lo array processor T1 321, consente l'acquisizione e l'elaborazione digitale in tempo reale del segnale analogico registrato. I dati vengono registrati su un'unità nastro interna in forma digitale.

CONTROL DISPLAY

Unità mod. CD10 È l'unità di visualizzazione e di controllo delle funzioni del sistema. È costituita da un monitor a colori ad alta risoluzione, mediante il quale è possibile avere, in tempo reale, la visualizzazione in falsi colori le sezioni radar ed il controllo e la progettazione dei filtri digitali per il processing dei dati.

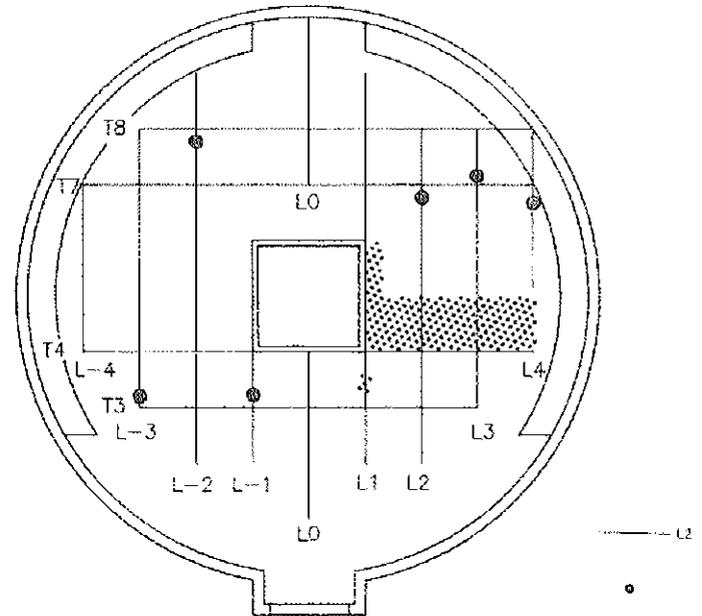
ANTENNA DA 500 MHz

RICETRASMITTENTE invia i segnali nel sottosuolo e ne riceve di ritorno gli echi in pochi nanosecondi.

Questa metodologia applicata come metodo di controllo non distruttivo, permette infatti una facile e rapida acquisizione dei dati nonché una precisa localizzazione delle anomalie. La prospezione geofisica è uno strumento valido e prezioso per la determinazione di

strutture sepolte in vari contesti archeologici. Essa può essere programmata per due scopi, scegliendo quindi i metodi più appropriati e le tempistiche adeguate:

- VALUTAZIONE DEL RISCHIO ARCHEOLOGICO in aree di urbanizzazione (comprensori edilizi, aeroporti, strade ed autostrade, ferrovie, arredi urbani, ecc.).
- RICERCA ARCHEOLOGICA propriamente detta (nell'ambito dei programmi di scavo e valorizzazione del patrimonio archeologico).



LEGENDA

- L2 Profilo G.P.R.
- Anomalia isolata
- Anomalia ascrivibile a struttura

Fig. 2. Planimetria anomalie elettromagnetiche batistero.

Sono passati circa trent'anni dai primi esperimenti nel campo della prospezione geofisica applicata all'archeologia, e da quasi vent'anni il lavoro procede con una certa continuità perfezionando i metodi geofisici tradizionali e ricercandone di nuovi e più sofisticati.

Lo sviluppo di tale metodologia mette a disposizione della ricerca archeologica uno strumento che offre la possibilità d'indagare zone molto più estese ed in tempi relativamente brevi che non quelle affrontabili con lo scavo tradizionale e fornendo al ricercatore la possibilità di formulare programmi più mirati. A fianco e ad integrazione dei metodi tradizionalmente utilizzati, quali quello elettrico - gravimetrico - magnetico e sis-

mico", da alcuni anni ha trovato un'applicazione ottimale il metodo GEORADAR G.P.R. (GROUND PROBING RADAR). Il sistema consiste nell'immissione nel terreno e nella ricezione da parte di un sensore, di onde elettromagnetiche con un campo di frequenza tra gli 80 ed i 1000 MHz; operativamente, in campagna, si trascina lungo profili definiti una serie di trasmettitori e sensori in modo da ottenere già in tempo reale una radargrafia del sottosuolo che mette in evidenza strutture, servizi interrati, vuoti, ecc. (Fig. 1). Il sistema è di facile utilizzazione e veloce per quanto riguarda l'acquisizione dei dati di campagna, mentre richiede una certa attenzione, esperienza ed abilità nell'elaborazione dei dati con l'utilizzo di sofisticati software e con l'analisi del segnale elettromagnetico.

Dal punto di vista operativo in campo, la prospezione eseguita su di una maglia regolare di profili permette la ricostruzione, con buona approssimazione, delle strutture sepolte, della loro profondità dal piano di calpestio e delle loro caratteristiche in base alla risposta del segnale elettromagnetico inviato. Ma va premesso che l'ascrizione di queste anomalie a ben definite strutture archeologiche è di alquanto difficile interpretazione e necessita di volta in volta di saggi esplorativi del sito per una maggiore sicurezza di responso.

Explicate tutte le osservazioni attinenti ai metodi d'indagine e alle strumentazioni adoperate, si passa alla vera e propria discussione sui risultati raggiunti. Premettiamo prima che il campo d'indagini pattuito con la committenza è stato successivamente allargato su iniziativa personale del ns. agente per la Slovenia, sig. Monti, con il risultato felice di ulteriori ritrovamenti quanto mai interessanti per l'approfondimento dello studio storico delle varie fasi di ristrutturazione del manufatto col passare dei secoli.

Abbiamo iniziato con l'effettuare la termografia della lesione della parete sud - ovest della Chiesa, che, come abbiamo detto, corre con un percorso pressoché parallelo al piano stradale, a partire dal triplo finestrone e dirigendosi verso il campanile. La graficizzazione dei risultati ottenuti è stata riportata su due tavole: una riguardante il prospetto esterno e l'altra quello interno. Sulle stesse tavole sono ubicate le zone di ripresa per le quali viene allegata la documentazione di certificazione. Trattasi di schede diagnostiche di due tipi:

a) quelle composte da pellicola al polaroid dell'immagine all'infrarosso con la relativa elaborazione computerizzata in mappa termica e foto reale del manufatto

b) quelle composte da pellicola al polaroid dell'immagine all'infrarosso e relative foto reali

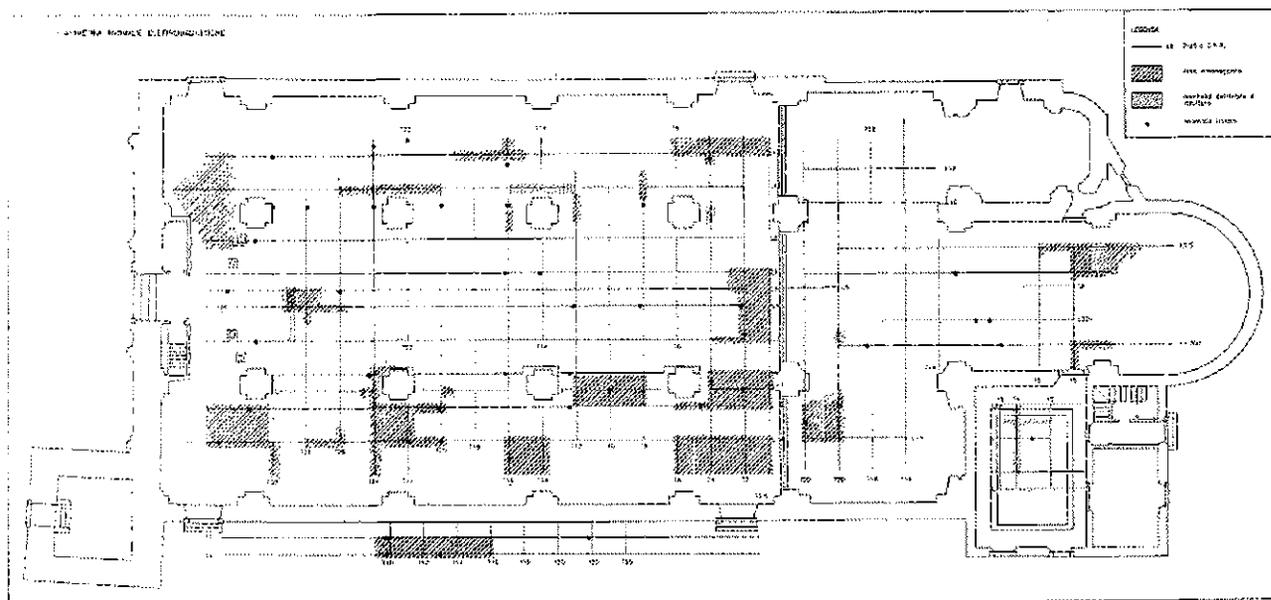


Fig. 3. Planimetria anomalie elettromagnetiche.

Va pure detto che la lettura delle immagini all'infrarosso (basata sulla distribuzione della temperatura superficiale) va effettuata, oltre che con l'ausilio di ben precisi parametri basati sull'irraggiamento dei corpi, anche con questi criteri:

- ZONE SCURE (fredde) corrispondono a materiali densi o pesanti (pietrame, metalli...)
- ZONE CHIARE (calde) corrispondono a materiali leggeri (mattoni, legno, lesioni, stuccature...)

Quindi, in relazione all'incarico affidatoci, e cioè lo studio della lesione visibile, propagatasi in senso orizzontale tra i finestroni superiori, si può affermare che:

- l'effettiva lesione della muratura ha una propagazione più articolata rispetto al visibile ma similare come direzionalità
- non esistono ulteriori manifestazioni fessurative riguardanti le murature in oggetto
- sulla facciata interna la lesione corrisponde al limite tra paramento murario in pietrame e lo spicco della volta in cotto

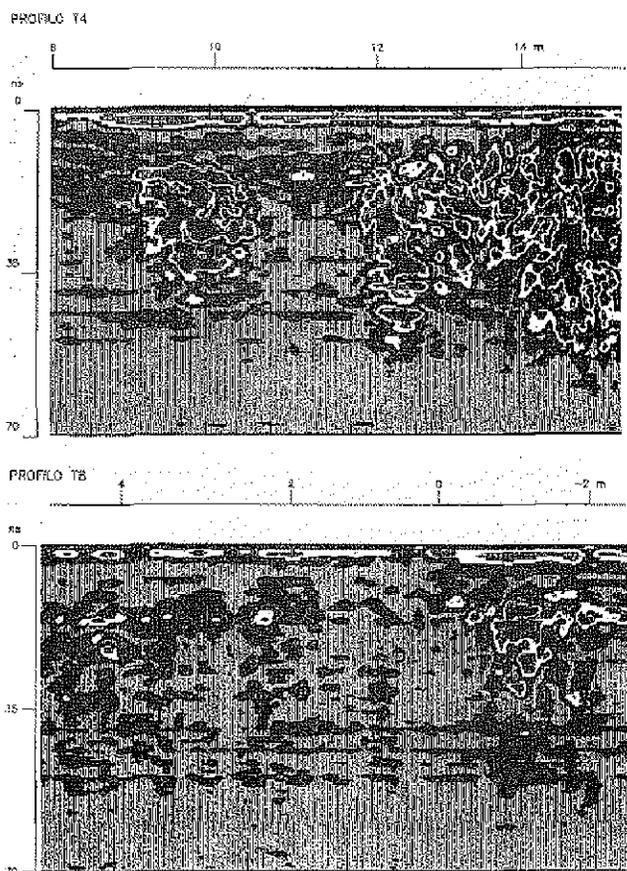


Fig. 4. Nel profilo T4 è visibile tra 9 e 10 una struttura e dal 12 in poi un'area rimaneggiata. Nel profilo T8 tra 0 e -2 si nota un'anomalia isolata.

L'analisi statico - diftologica relativa alla lesione e in correlazione ad una vistosa spancatura osservata nel muro esterno, a ridosso di essa, nonché alla mancanza di presidi strutturali atti al contenimento di sforzi orizzontali, può individuare nella spinta provocata dalla volta superiore la probabile causa generante. Ad ogni caso queste ipotesi andrebbero verificate ed approfondite con ulteriori esami, da noi peraltro già proposti, quali: prove soniche, endoscopie, eventuali martinetti piatti e prove tensionali. Certamente le trasformazioni stilistiche subite dalla Chiesa nel passare dei secoli devono aver pesato non poco sugli equilibri statici della stessa.

Ma è sull'ampliamento delle indagini sulla parete in questione, che si sono avute le scoperte più interessanti con la messa in luce di tutta una serie di motivi architettonici celati sotto l'intonaco. Fra questi, degni di attenzione sono alcuni rilievi arieggianti delle merlature e posti sopra il portale d'ingresso ad uso dei fedeli (Fig. 7).

All'interno invece, nella parete laterale la suddetta porta, e quasi a ridosso del campanile, si vede delineata una parete che sembrerebbe formata da materiali più densi dei mattoni che formano la quasi totalità del manufatto in quel sito. E, dato che questa parete è tuttora sotto studio per motivi della sua costruzione, si coglierà probabilmente l'occasione per ulteriori esami strumentali.

Passando poi alle indagini georadar vere e proprie, atte ad individuare eventuali antiche strutture relative ai precedenti assetti architettonici subiti nei secoli dall'edificio indagato, si è ritenuta opportuna la realizzazione di una maglia d'indagine di metri 2 x 2, rendendo così possibile una correlazione delle eventuali anomalie riscontrate.

Complessivamente sono stati eseguiti 1090 metri lineari di profili radar (Fig. 2, 3) coprendo così l'area del Duomo, della Sacrestia e del Battistero.

La prima fase di lavoro è stata quella di scegliere la configurazione strumentale in funzione delle caratteristiche del mezzo entro cui il segnale si propaga e degli obiettivi che ci si era prefissati. Tra tutte le antenne utilizzabili (100, 300, 500 e 900 MHz) è stata scelta quella di 500 MHz che unisce alla versatilità operativa, grazie alle ridotte dimensioni, una buona profondità d'indagine.

Dal momento che i livelli altimetrici relativi alle aree indagate sono differenti e probabilmente realizzati con materiali aventi diverse caratteristiche elettromagnetiche, si sono rese necessarie varie configurazioni strumentali.

Impostando un tempo di fondoscala di 70 ns, sono stati ottenuti dati utili per la definizione delle caratteristiche del sottosuolo fino ad una profondità di circa 3 metri.

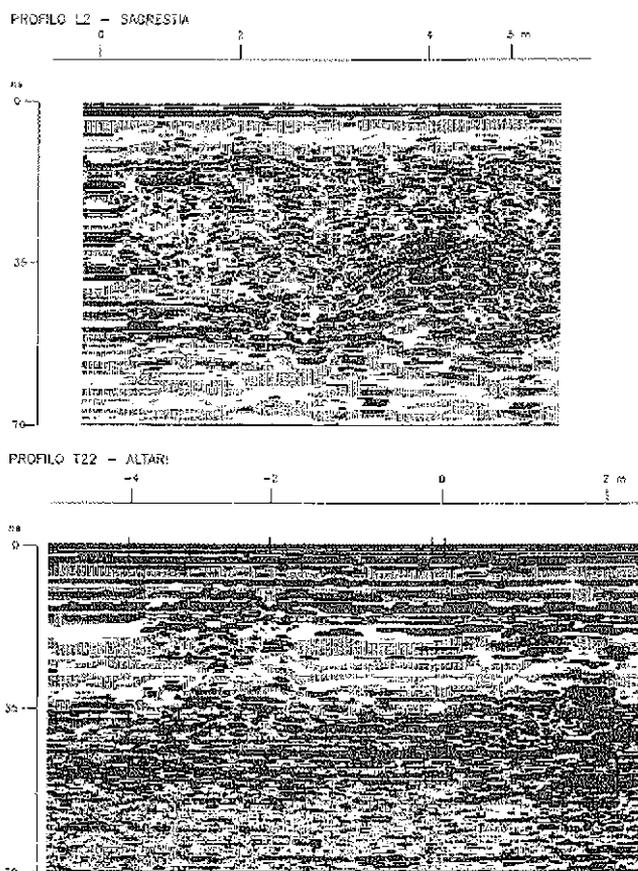


Fig. 5. Nel profilo L2 si nota, centrata sulla prog. 4, l'anomalia ascritta a struttura. Nel profilo T22 sono visibili un'area rimaneggiata tra -2 e -4 e una struttura al prog. 2 circa 1 metro.

In Fig. 3 sono state riportate le aree indagate ed i profili eseguiti.

Le anomalie rilevate sono state suddivise in tre gruppi, sulla base delle loro caratteristiche geometriche ed elettromagnetiche:

ANOMALIE ISOLATE: vengono ascritte a "target" di piccole dimensioni fino cioè a circa 30 - 40 cm di estensione, che determinano, sulla registrazione radar, le tipiche riflessioni ad iperbole.

ANOMALIE ASCRIVIBILI A STRUTTURE: si riferiscono a strutture sepolte di dimensioni maggiori rispetto alle puntuali.

AREE RIMANEGGIATE: si tratta di aree in cui non si riesce a delineare esattamente delle strutture in quanto sembra trattarsi di zone costituite da materiale caotico, che non danno quindi una risposta radar netta. All'interno si possono a volte riconoscere delle anomalie isolate.

Nella planimetria (Fig. 3) sono rappresentate in modo schematico ed esemplificativo le anomalie precedentemente descritte. Nell'area compresa tra le na-

vate, dove è stato possibile eseguire un reticolo regolare di profili, si nota la prevalenza di anomalie del terzo tipo e cioè di aree caratterizzate dalla presenza di materiale rimaneggiato.

Dal punto di vista elettromagnetico, l'area compresa tra i profili T0 5 - T6 e tra L0 e L6 si presenta diversa dalle altre rappresentate con la stessa simbologia. Infatti qui le riflessioni sono molto più forti e nascondono quindi eventuali segnali più deboli sottostanti.

Sono state comunque individuate delle anomalie puntiformi molto forti, ubicate in pianta tra L0 e L-2. Si può notare che la maggior parte delle aree rimaneggiate sono in corrispondenza delle colonne e comunque lungo i muri perimetrali, mentre la parte centrale si presenta quasi indisturbata, fatta eccezione per alcune anomalie localizzate.

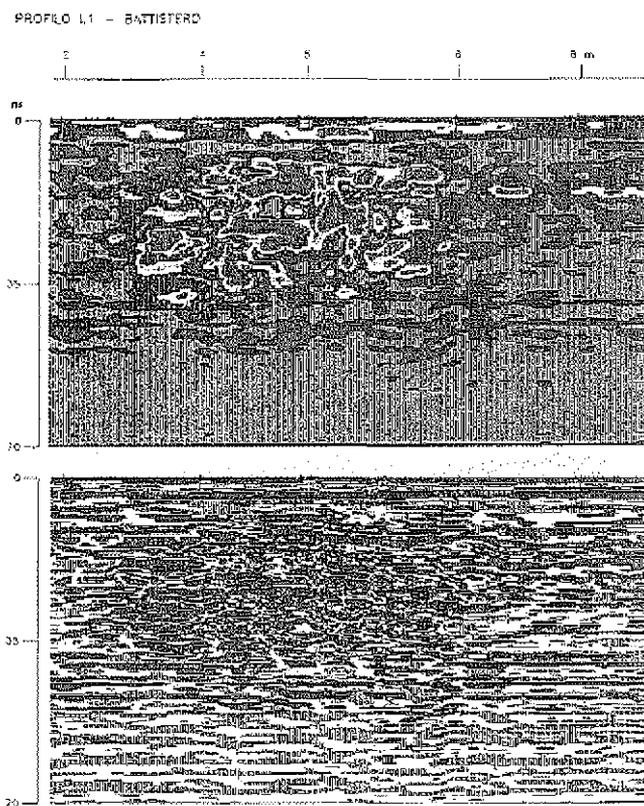


Fig. 6. Profilo L1 non processato (sotto) e processato (sopra) - È visibile alla prog. 3 una struttura isolata e dalla prog. 4.5 una struttura estesa fino alla prog. 6.

Per quanto riguarda le anomalie ascrivibili a strutture, ne sono state individuate tre.

La prima, ubicata sul profilo T4 alla progressiva 10 presenta una estensione di circa 1 metro e si trova alla profondità di circa 70 cm.

La seconda ha un'estensione maggiore e viene intercettata dal profilo L11 tra le progressive 12 e 16 ad una profondità di circa 70 - 80 cm.

La terza è ubicata sui profili L5 - L4 - L12 tra le progressive 20 e 30 ed è stata estrapolata da tre anomalie puntuali che presentavano le stesse caratteristiche geometriche ed elettromagnetiche.

In Fig. 4 sono illustrati due stralci dei profili T4 e T8. Nel profilo T4 è visibile tra 9 e 10 un'anomalia che nella planimetria è stata rappresentata come struttura; dalla progressiva 12 fino alla fine del profilo si nota un'area definita come rimaneggiata con un'anomalia isolata a 12.

Nel profilo T8 sono visibili due anomalie isolate localizzate a -1 ed a 4.

Nella zona degli altari sono stati eseguiti due reticoli di profili, uno centrato sull'altare maggiore ed uno all'interno della Sacrestia.

La prima serie di profili ha messo in luce un'anomalia ascrivibile a struttura posta a circa metri 1,5 di profondità, inglobata in un'area rimaneggiata, si è cioè

riusciti a distinguere un'anomalia relativamente netta su due profili adiacenti con le stesse caratteristiche geometriche ed elettromagnetiche.

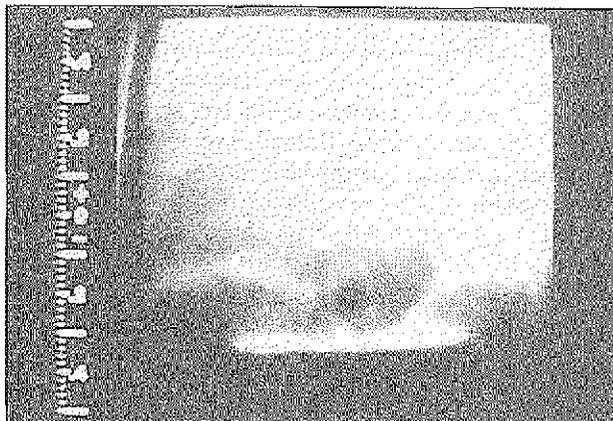


Fig. 7a.

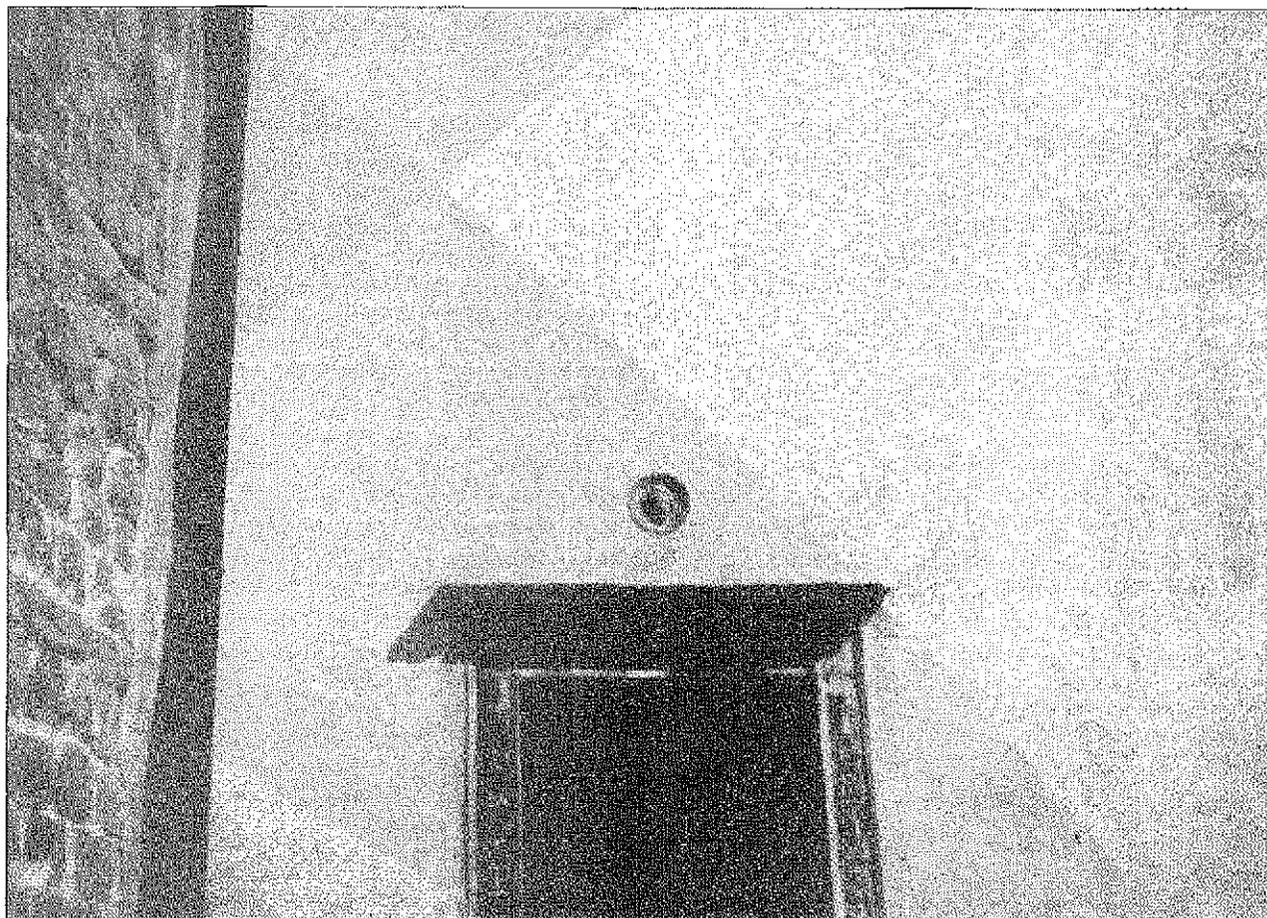


Fig. 7.

Un'altra anomalia, definita come struttura, è stata rilevata dal profilo T22.

Il reticolo eseguito nelle Sacrestia ha messo in evidenza due strutture ad andamento ortogonale, poste alla profondità di circa 1 metro.

In Fig. 5 sono rappresentati i profili L2 eseguito in Sacrestia ed il T22 eseguito davanti all'altare. Nel profilo L2 si nota, centrata sulla progressiva 4, l'anomalia ascritta a struttura. Trattasi di una struttura a volta che viene intercettata perpendicolarmente dal profilo.

Nel profilo T22 sono visibili un'area rimaneggiata con all'interno un'anomalia isolata compresa tra -2 e -4 e l'anomalia ascritta a struttura alla progressiva 2 e posta ad una profondità di circa 1 metro.

Nel Battistero (Fig. 2) è stata individuata un'anomalia rappresentata come struttura di non facile attribuzione in quanto non si presenta come un'unica struttura, sembra infatti costituita da due livelli sovrastanti.

Nella Fig. 6 è rappresentato il profilo radar L1 come appare in fase di acquisizione (sotto) e dopo le varie fasi di filtraggio (sopra).

Sono stati inoltre eseguiti dei profili all'esterno del Duomo allo scopo di intercettare le strutture rilevate dagli scavi precedentemente eseguiti. Sono state rilevate delle anomalie isolate all'interno di un'area rimaneggiata difficilmente correlabili a causa del limitato numero di profili.

Per concludere, si evince che l'indagine con il metodo G.P.R. nel Duomo e nel Battistero di Capodistria era finalizzata alla possibile localizzazione di antiche strutture relative ai precedenti assetti architettonici.

Sono state rilevate una serie di anomalie che sono state distinte sulla base delle loro caratteristiche in tre tipologie.

Si è cercato di effettuare delle correlazioni in modo tale da ricostruire le strutture note da documenti storici. La presenza di aree, definite come rimaneggiate, caratterizzate da materiali eterogenei ha determinato delle difficoltà nella ricostruzione delle strutture. Sono state comunque individuate delle zone che presentano sicuro interesse archeologico.

IZVLEČEK

Avtorja opiseta nedestruktivne postopke, ki jih je firma Tecno Futur Service izvedla l. 1994 v koprski stolnici in v baptisteriju. Georadarska raziskava tal in termografska analiza sten so pokazale dokaj zamotano sliko zgradb zaradi zaporedja posegov skozi 700 let. Možno je razločiti uporabljene materiale, danes skrite pod ometi ali pod podom in njihovo fizično stanje (vlažnost, struktura). Interpretacija rezultatov se delno ujema z rezultati historične analize in arheoloških posegov v stolnici.