

Fabrizio Frignani

Evoluzione del rilievo topografico: dalle stelle naturali alle stelle artificiali

Sommario

L'ultima innovazione in campo topografico è costituita dall'utilizzo dei ricevitori satellitari e dai nuovi strumenti elettronici che consentono di raccogliere i dati con ottima precisione. Si tratta inoltre dell'utilizzo del G.P.S. (Global Position System), dell'elaborazione e della restituzione dei dati. Come esempi vengono portati i lavori svolti a Tharros (Oristano) presso il Tempio K e l'acquedotto romano di Brixellum (Reggio Emilia).

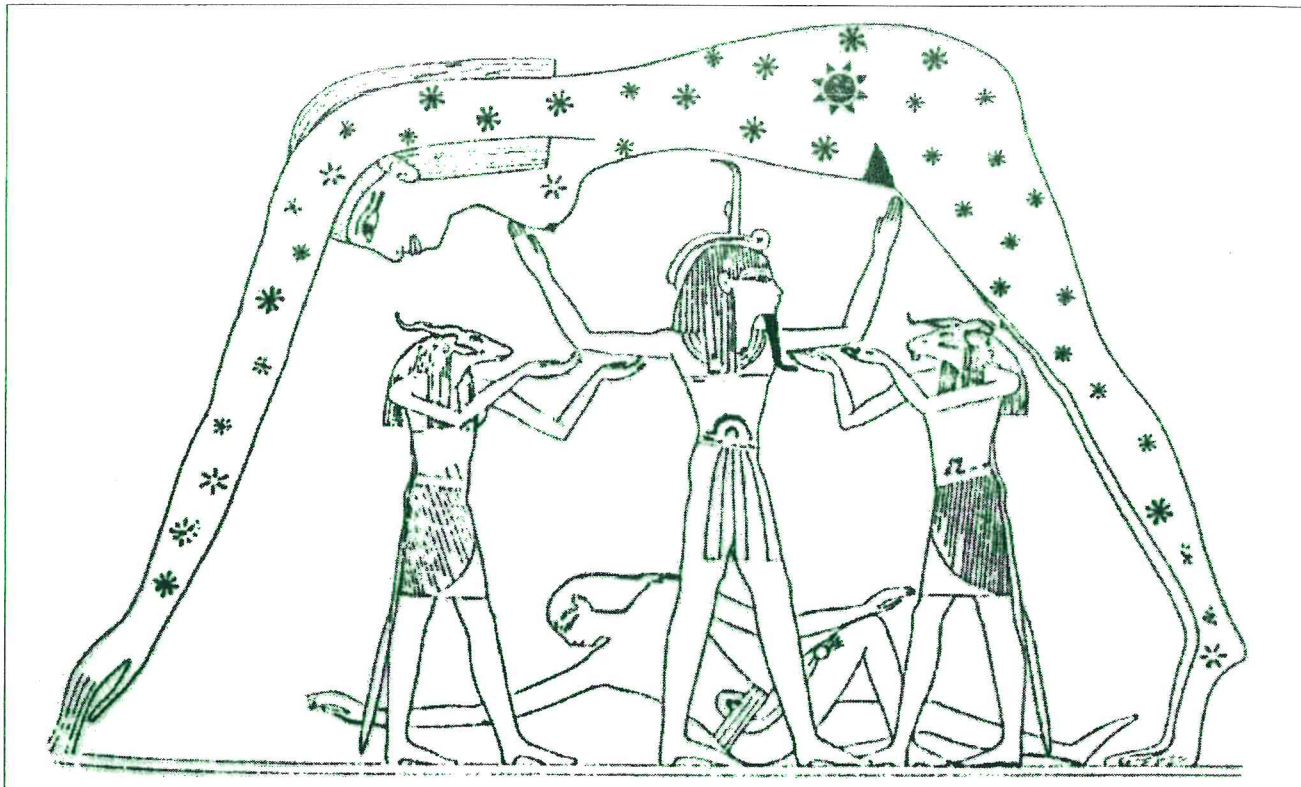
Abstract

The last innovation in topography is represented by the use of satellite receivers and new electronic instruments which permit to get data with excellent accuracy. There is also the use of GPS, the data processing and the data restitution. As examples we report the works carried out in Tharros (Oristano) near K Temple and the roman aqueduct of Brixellum (Reggio Emilia).

Premessa

La licenza o provocazione presente nel titolo non tende a mettere in discussione niente di quello che è stato detto e scritto fino ad oggi: è una mia 'forzatura', legata al mio particolare modo di pensare la topografia, la cartografia e la geografia, e in esse l'uomo che da quando ha iniziato a spostarsi sulla superficie terrestre ha cercato dei punti di riferimento con cui orientarsi. Gli astri -sole, luna e stelle- hanno sempre guidato viandanti, carovanieri e naviganti che si spostavano da un luogo all'altro del mondo conosciuto e sconosciuto. Probabilmente, prima dell'invenzione della matematica, della geometria e della trigonometria, le misurazioni, non considerate come noi le intendiamo, erano sostanziate di punti tappa ben determinati, legati appunto al percorso del sole di giorno e alla posizione delle stelle di notte. Poco alla volta le scienze matematiche si svilupparono, si scoprirono teoremi, s'inventarono le unità di misura e, con i Greci, la trigonometria di base. Nelle proprie realizzazioni i Romani misero a punto metodi e strumenti per la misurazione, il più importante dei quali è probabilmente la diottra; per i naviganti erano già in uso

strumenti meccanici. Le più belle costruzioni dei Romani, legate a precisi sistemi di misurazione, sono senz'altro gli acquedotti, sia su arcate, sia in condotte interrate, che in 'cavo cieco'. In questi ultimi, che possiamo definire con il termine di 'acquedotti ipogei' -cavità artificiali a tutti gli effetti-, si effettuarono misurazioni e allineamenti che ai nostri occhi risultano sorprendenti. I sistemi di misurazione e tracciamento avevano raggiunto -di fatto- livelli di precisione impensabili ai nostri giorni, considerando che oggi, in alcune grandi opere pubbliche, proprio nello scavo di gallerie ci sono esempi di errori considerevoli. Tralasciando il Medioevo, con lo sviluppo della navigazione e la scoperta del 'nuovo mondo' si realizzarono le prime carte geografiche che rappresentavano dapprima le coste (le prime ad essere scoperte), poi l'interno del territorio. La questione da affrontare era quella di trasportare su carta la finalmente scoperta sfericità terrestre. Iniziava per la cartografia lo studio delle proiezioni. Con lo sviluppo degli stati e dei regni si rende necessario rappresentare esattamente il territorio ed i propri confini. In Italia, una volta raggiunta l'unità, un ente statale denominato

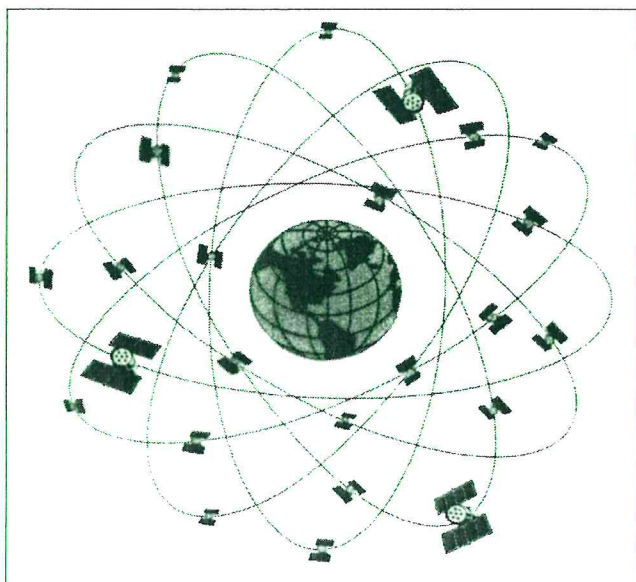


L'importanza del cielo per gli antichi.

attualmente I.G.M. (Istituto Geografico Militare), dava l'avvio a un grande lavoro di misurazione del territorio italiano: "LA RETE GEODETICA NAZIONALE".

Attualmente, gli strumenti di misura quali tacheometri e teodoliti diventano estremamente importanti, e sempre più sofisticati; si passa da strumenti manuali a strumenti semiautomatici, fino alle ultime "stazioni totali"

completamente elettroniche, e ai ricevitori satellitari. L'ultima innovazione è costituita appunto dai ricevitori satellitari "LE NUOVE STELLE". Infatti, l'uomo ha posizionato nel cielo un certo numero di satelliti: una "COSTELLAZIONE" che ci guida, ci indica la nostra posizione, proprio come agli albori dell'umanità i primi uomini si orientavano con "LE STELLE NATURALI".



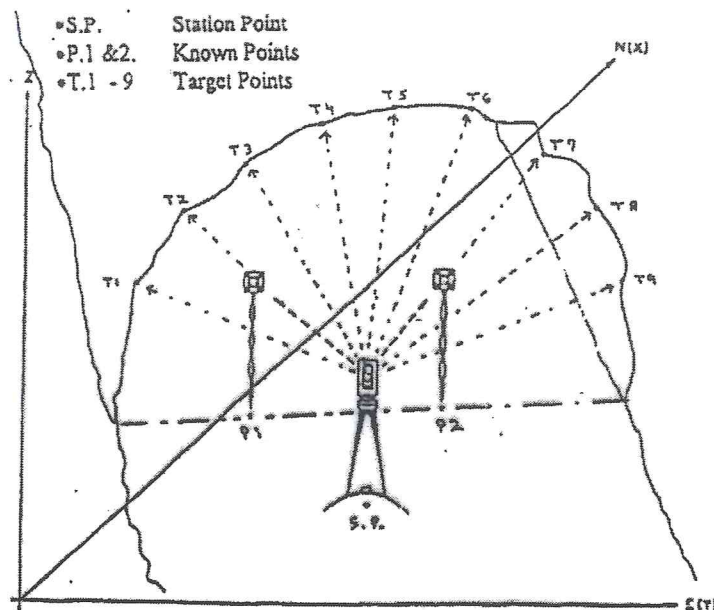
Le nuove stelle.

Il rilievo

Con le nuove tecnologie, il rilievo topografico sta entrando di prepotenza in mondi e ambienti d'utilizzo fino a tempi recenti poco attinenti con le misurazioni di precisione. La necessità di avere e di utilizzare strumenti che permettono di acquisire e gestire in minor tempo dati relativi a studi, analisi e strutture, al posizionamento degli stessi su una cartografia o altre piattaforme, e ottenere disegni di un elemento o di un sito in varie scale, diventa ogni giorno sempre più richiesto. La tecnologia moderna può contribuire quindi, durante le fasi di un lavoro, alla ricerca e alla rappresentazione grafica. In campo topografico c'è stato un progresso velocissimo, legato alla costruzione in ambito elettronico di componentistica sempre più miniaturizzata. Dagli strumenti tradizionali quali livelli, tacheometri e teodoliti, si è passati alle "stazioni totali", con l'acquisizione dei dati prima manuale e



* Le uniche coordinate che si possono rilevare con questa funzione sono quelle poste sul piano verticale creato fra i due punti di riferimento, non si potranno quindi ottenere valori per punti posti su piani verticali concavi o convessi.

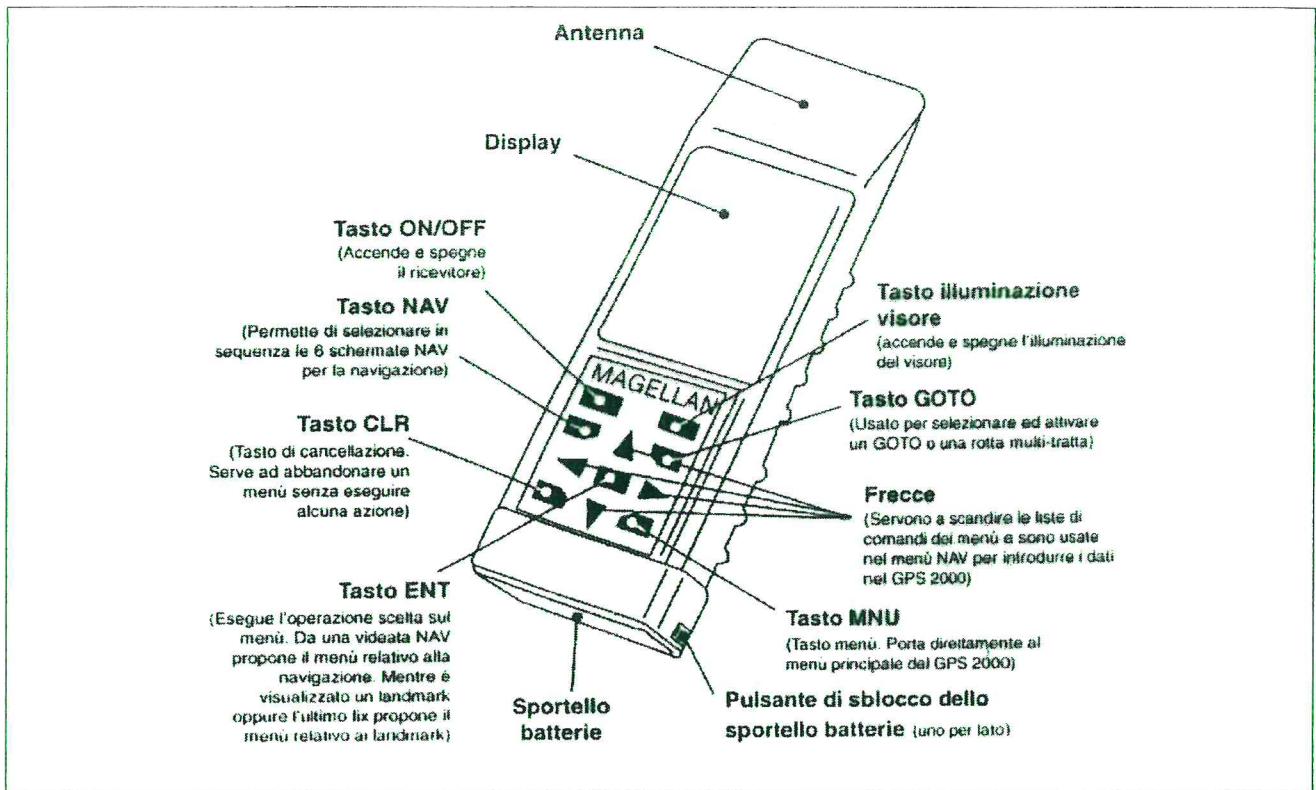


Metodo di rilievo dei prospetti con la "stazione totale".

oggi automatica, utilizzando raccoglitori esterni o interni. (Non entriamo nel merito di quali siano i migliori: diciamo solo che l'elettronica meno è complicata e più è affidabile). Questi strumenti permettono di raccogliere i dati con una precisione superiore a quella dell'attrezzatura tradizionale. E soprattutto tali dati (X, Y, Z) non sono manipolati dall'uomo, eliminando la possibilità d'errore nella lettura e nella trascrizione degli stessi. La distanza in lettura, che si riesce a coprire con gli strumenti moderni, è nell'ordine di 1.800 metri, anche se è consigliabile -per ottenere dati precisi- non superare i 500 metri. La precisione angolare può variare da venti centesimi, ad un centesimo di grado, anche se gli strumenti più precisi servono solo per controlli di grande precisione, dove il millimetro incide, 'fa differenza'. L'ultima evoluzione in campo topografico per l'esecuzione dei rilievi è il G.P.S. (Global Position System). Oggi giorno tale sistema è ampiamente pubblicizzato: chi vuole essere 'in' lo installa sull'auto (ormai è un optional quasi obbligatorio), ma pochi ne conoscono veramente le possibili applicazioni. Lo strumento permette, in tempo reale, di sapere qual'è la posizione di un punto sulla sfera terrestre, utilizzando un ricevitore a terra e una costellazione di satelliti in cielo.

Il sistema G.P.S., con tutti i suoi satelliti, è stato messo in orbita ed è gestito dal dipartimento della difesa

statunitense (esiste anche il sistema parallelo russo denominato GLONASS). In principio era adibito solo a scopi militari. In seguito, l'impiego in campo civile si è sviluppato fino all'attuale diffusione, a volte anche impropria. Il sistema è formato da 24 satelliti di cui 21 funzionanti e 3 di riserva, che ruotano intorno alla terra su piani orbitali differenti. La costellazione visibile per ogni emisfero è di 12 satelliti, che avvolge la sfera terrestre con copertura continua. I satelliti sono posizionati a circa 20.200 km dalla superficie terrestre, e sono visibili da un punto per circa 5 ore di seguito (importante è avere presente in modo uniforme la costellazione nel corso del rilevamento, cioè avere gli stessi satelliti nello stesso intervallo di ricezione). Ogni satellite è caratterizzato da dati specifici che ne permettono il riconoscimento; in caso di anomalie le correzioni possono essere effettuate da terra, tramite cinque stazioni di controllo sparse nel mondo. Con il G.P.S., in base al tipo di ricevitore, e alle caratteristiche delle antenne, si possono ottenere dati più o meno precisi. Per ottenere dei posizionamenti con un errore di 20-50 metri (posizione x, y), utilizzabili per indagini speditive, sono molto utili i G.P.S. portatili di piccole dimensioni (quelle di un telefono cellulare), che permettono di avere in tempo reale le Coordinate Geografiche, U.T.M., o altri sistemi di riferimento (non Gauss-Boaga) senza l'uso di software di post elabo-

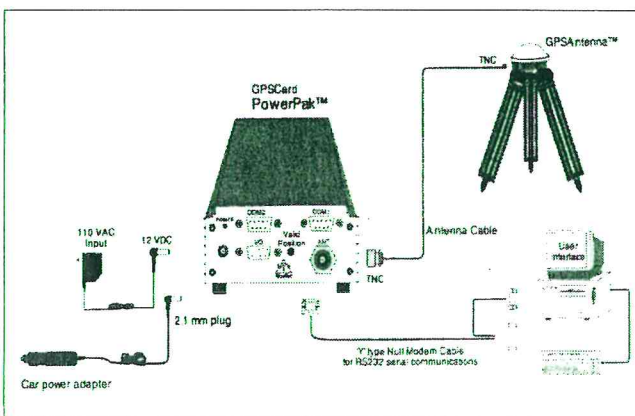


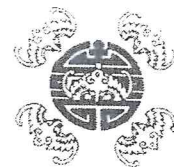
razione. Questo dato, anche se influenzato da errore, vi permette di riportare su una cartografia in scala 1:25.000, o 1:50.000 l'elemento che voi volete individuare, con una certa precisione (1 cm corrisponde nelle due scale rispettivamente a 250, e 500 metri). Per ottenere precisioni dell'ordine di 1 cm o anche meno, servono G.P.S. più sofisticati, anche con più antenne: almeno due permettono di lavorare con il sistema definito "differenziale", che elimina gli errori imposti o quelli dovuti a fattori tecnici e atmosferici.

Tramite appositi software si ottengono successivamente i dati (l'elaborazione è l'operazione più complessa). C'è anche la possibilità di lavorare in tempo reale, ottenendo i dati sul display del vostro ricevitore mentre vi muovete, ma in Italia -a causa di difficoltà buro-

cratiche e legislative- è quasi impossibile gestire una frequenza radio. Tale sistema (REAL TIME) è ancora molto costoso, escludendo per motivi tecnici di continuità del segnale la trasmissione dati via telefonia mobile; comunque tale ultima tecnologia è forse eccessiva, per i nostri scopi.

I maggiori istituti geodetici del mondo stanno completando le nuove reti geodetiche interne ad ogni nazione con il sistema G.P.S. Per l'Italia il lavoro è stato svolto dall'I.G.M., che ha ribattuto la sua rete d'impianto denominandola "Rete Geodetica I.G.M. 95". L'uso del G.P.S. permette quindi di avere dati in coordinate geografiche o U.T.M. del vostro sito di studio, e di parlare un linguaggio comune in quanto il sistema U.T.M. è quello utilizzato per la cartografia mondiale. In teoria, con il G.P.S. si possono eseguire rilievi di dettaglio, ma l'esperienza personale mi porta a consigliarne l'uso in associazione alla "stazione totale". Generalmente si opera procedendo in questa sequenza: con il G.P.S. si realizza la poligonale d'appoggio, in modo da sfruttare uno dei pregi maggiori del rilievo satellitare, che permette appunto di eseguire poligonali senza l'intervisibilità tra una stazione l'altra, con un raggio d'azione di almeno 20 km. (diametro 40 km). Vista la velocità e l'estrema riduzione dei tempi nell'esecuzione dei punti di rilievo, consiglio comunque di realizzare una poligonale dove da ogni punto G.P.S. se ne vedano almeno altri due. Ciò può





sembrare in contraddizione con quanto detto in precedenza, ma sto parlando di una poligonale con lati di più chilometri, e chi lavora in campo topografico conosce le difficoltà che si hanno con strumentazioni tradizionali, nel coprire certe distanze, senza incorrere in potenziali errori di misura (qualche centimetro). Una volta realizzata la poligonale, con la "stazione totale" si eseguono i rilievi di dettaglio, che possono essere anche relativi, e soprattutto non si perde tempo negli appoggi e nelle letture di andata e ritorno dalle stazioni. I meccanismi di realizzazione di una poligonale aperta o chiusa portano a perdere molto tempo e a percorrere le distanze tra una stazione e l'altra più volte. Potete ben capire che fino a quando si tratta di rilevare un'area di piccole dimensioni i tempi di stazionamento sono brevi, ma quando le distanze diventano anche solo di un paio di chilometri, i tempi di esecuzione del lavoro aumentano in modo esponenziale. Più aumentano i vertici della poligonale più si rischia di aumentare l'errore tecnico dovuto anche solo alla precisione della strumentazione utilizzata. Nella poligonale eseguita con il G.P.S. questi piccoli problemi non esistono. E' da tenere presente che tutte le volte che nel mondo si presentano anomalie dovute ad interventi militari (vedi la guerra nel Kosovo), è difficile lavorare con questa tecnologia, perché viene canalizzata solo per gli scopi militari.

Come si lavora con il G.P.S.

A prima vista la strumentazione lascia parecchio perplessi, in quanto un topografo ha in mano una scatola di colore nero o giallo, e un'antenna fatta a cupola più o meno grande, che una volta collegata alla batteria comincia a ricevere dati.

Ma cosa si riceve? Questa è la domanda classica, anche perché fino a quando i dati non vengono elaborati non si vede cos'avete 'portato a casa'. La risposta viaggia su onde radio che trasportano informazioni relative al nome del satellite che le invia, al tipo di posizione all'interno della sua orbita, all'orario in cui il segnale viene emesso, ecc. La risposta è quindi: "onde radio". Come detto in precedenza, quando il segnale attraversa l'atmosfera viene alterato; gli orologi atomici dei satelliti non sono sincronizzati perfettamente tra loro, quindi se si è in possesso di un solo ricevitore l'errore a terra può variare tra i 20 ed i 100 metri. Per ovviare a tale inconveniente occorre utilizzare almeno due ricevitori: con appositi software -ricevendo gli stessi segnali- si possono eliminare gli errori. Questo metodo prende il nome di "tecnica differenziale", e la base costruita con i due punti a terra viene detta "baseline", o "linea di base". Per eseguire un buon rilievo serve

un numero minimo di almeno quattro satelliti, dislocati con una appropriata geometria nella costellazione. Non è detto che avendo 'semplicemente' tanti satelliti in ricezione il risultato sia ottimo.

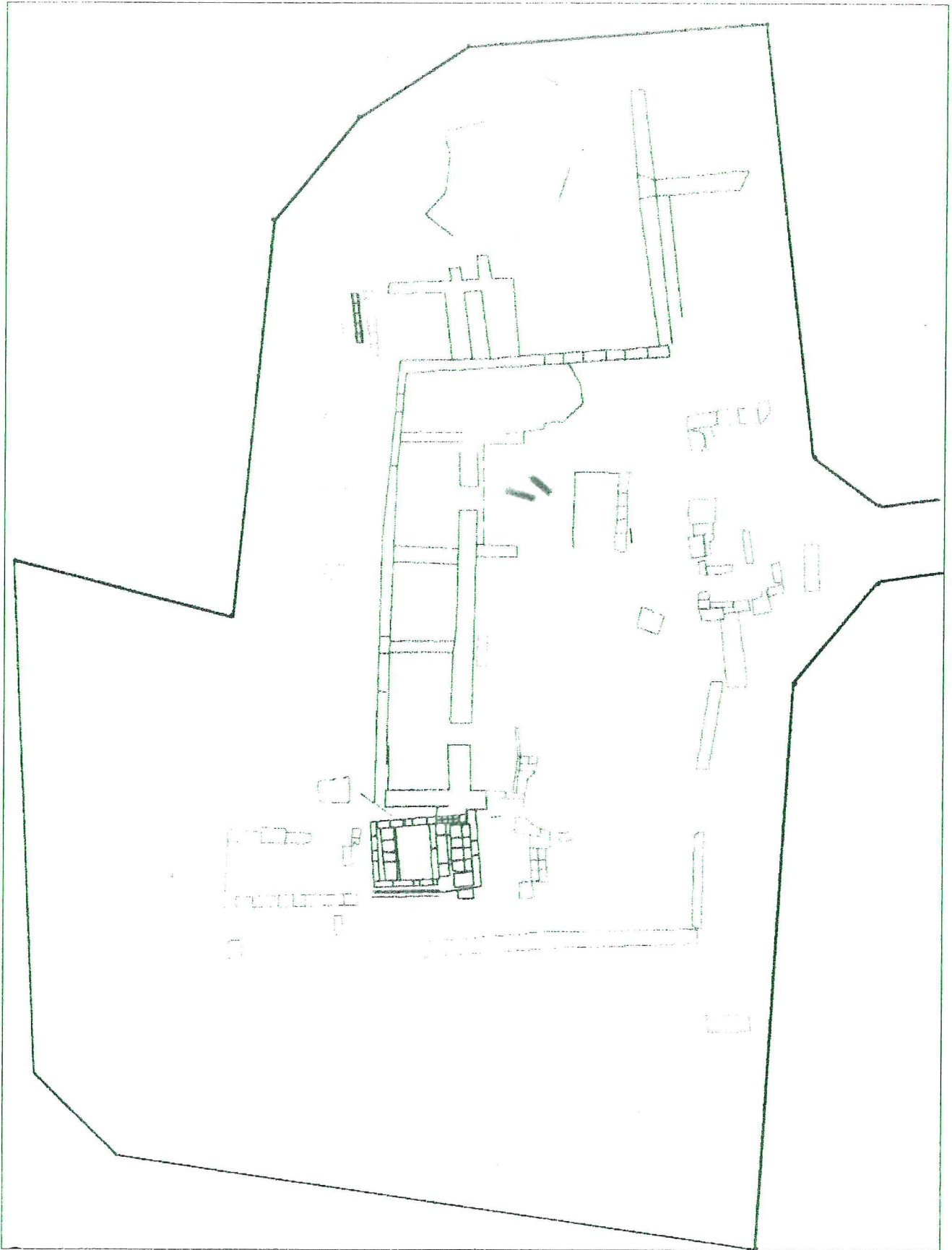
In campo speleologico il G.P.S. può avere -al momento- una funzione di appoggio all'indagine di superficie, in quanto all'interno del suolo terrestre le onde radio non passano. Può essere utile nello studio di grandi sistemi di cavità, posizionandone gli accessi con quote e coordinate note. Lo stesso discorso è da tenere presente nel campo delle Cavità Artificiali.

Le applicazioni della "total station" o "stazione totale", sono molteplici. Si può pensare di spingersi anche all'interno delle cavità. Gli strumenti moderni sono abbastanza leggeri, hanno software integrati e sono dotati di batterie a lunga durata (una batteria di 400 grammi di peso può permettere di lavorare da 10 a 12 ore in tracciamento). L'unico difetto di questi strumenti è il costo, che ne sconsiglia l'uso in ambienti angusti o dove il rischio di rovinarli aumenta. Generalmente si pensa che il rilievo con una "stazione totale" sia limitato ad un discorso planimetrico, e alla definizione delle quote: invece è attualmente possibile rilevare anche una sezione verticale, in quanto nel rilievo si definiscono sempre tre coordinate, che vengono proiettate su un foglio piano. Il rilievo può così essere inteso sia in orizzontale che in verticale.

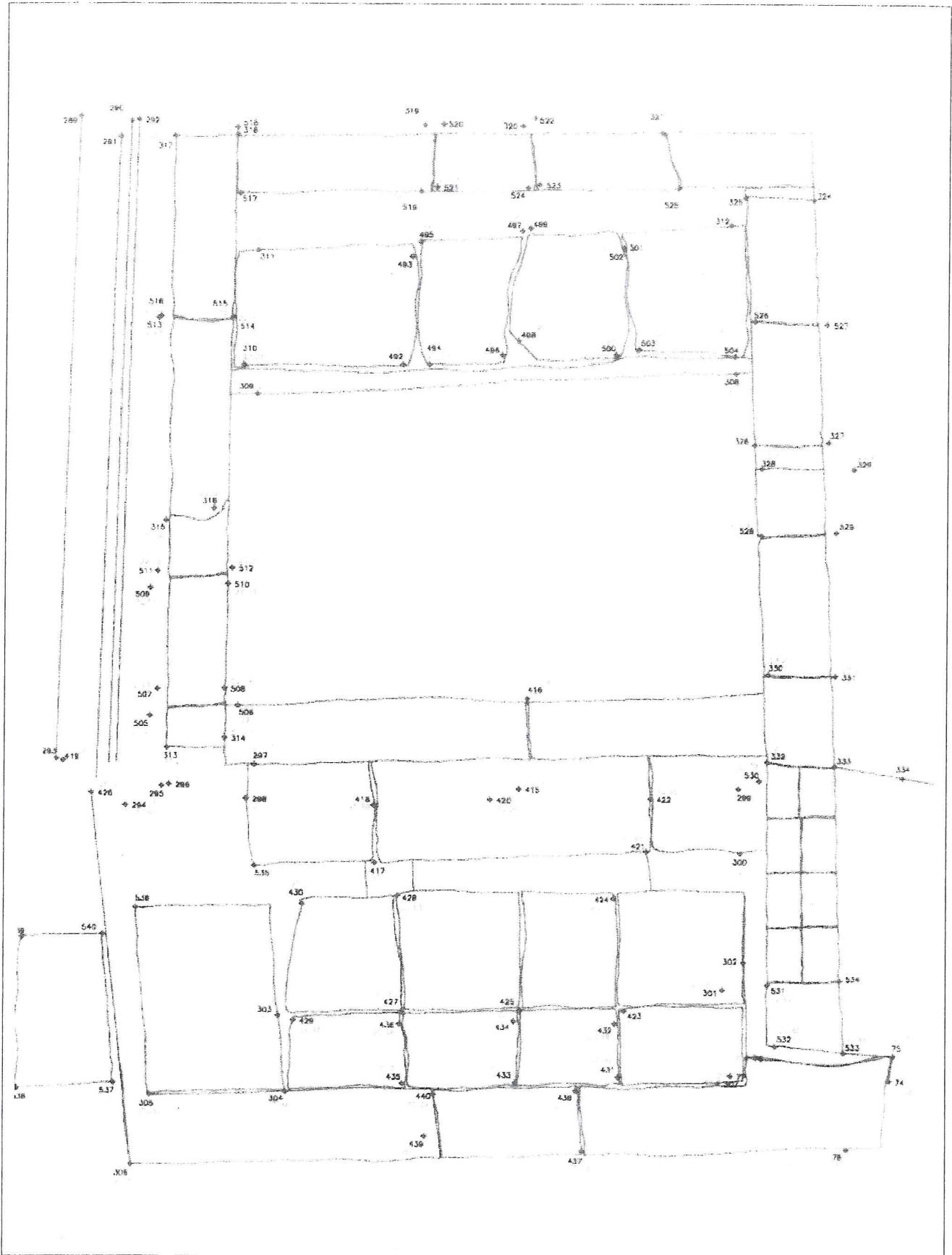
Elaborazione e restituzione dei dati

Una volta eseguito il rilievo si devono elaborare i dati, con la struttura informatica. Con le nuove tecnologie (e con i dovuti 'investimenti') si può operare anche in zone dove non è disponibile la corrente elettrica utilizzando alimentatori fotovoltaici.

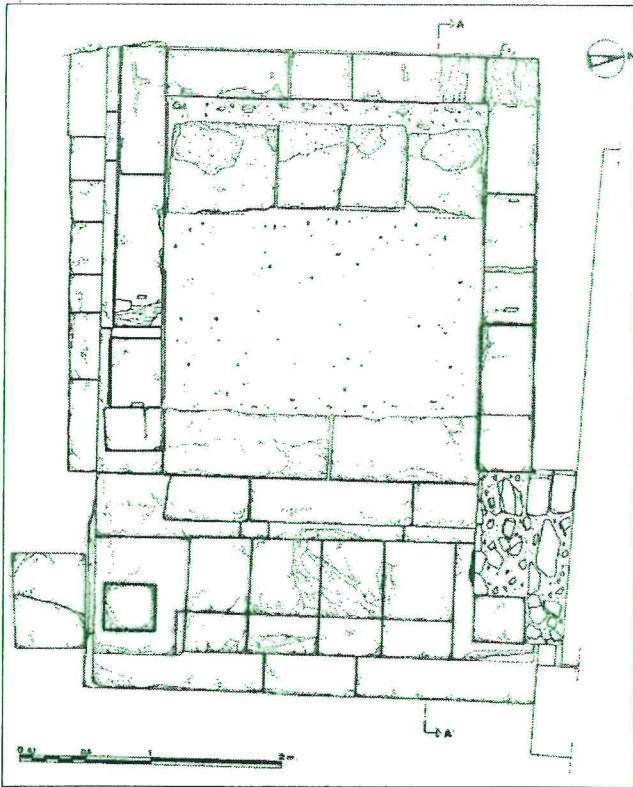
Per le nostre applicazioni grafiche, è sempre stato utilizzato il software Autocad release 14.0, ed i suoi applicativi Autocad Map, e Landcadd, mentre l'elaborazione dei dati viene ottenuta con il software Geodata per quelli terrestri, mentre per quelli satellitari vengono utilizzati i software G.P.S. di Novatel, e Pinnacle della Javad Positioning Sistem. Questi software sono in campo tecnico -soprattutto Autocad- i più utilizzati nel mondo. Pertanto i disegni sono preparati su una piattaforma che vi colloca nella possibilità di comunicare con qualsiasi studio. Il sistema informatico per la gestione dei disegni è importante, perché permette di avere un supporto indistruttibile, di potere archiviare su più copie, ma soprattutto di realizzare disegni che possono essere stampati in scale diverse. Il sistema informatico è molto flessibile e per mettere in evidenza tutte le sue potenzialità non sono certo sufficienti poche righe; l'argomento meriterebbe



Tharros - Pianta complessiva dell'area denominata Tempio K.



Tharros - Tempio K rilievo luglio 1998 eseguito con strumentazione elettroottica.

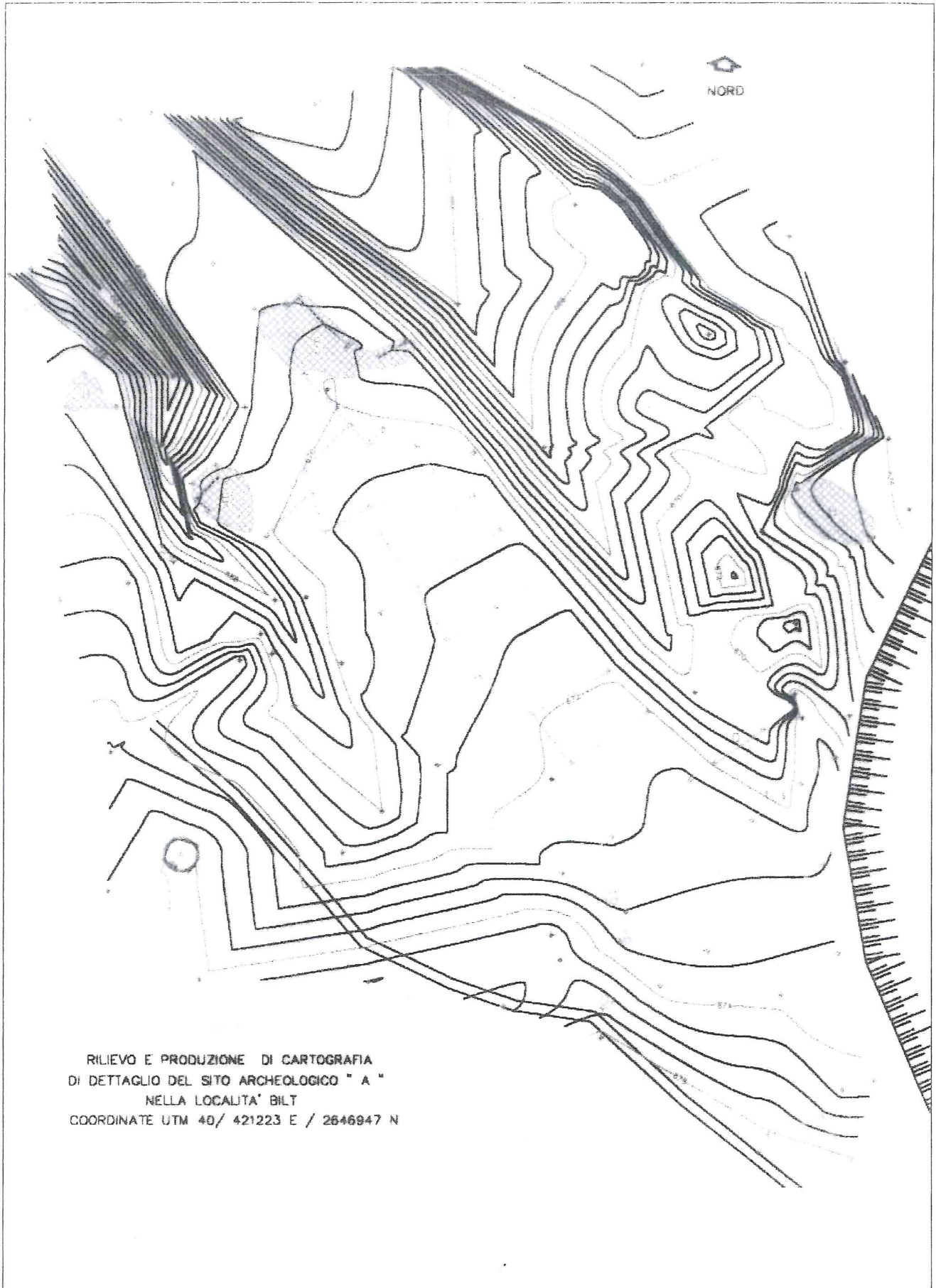


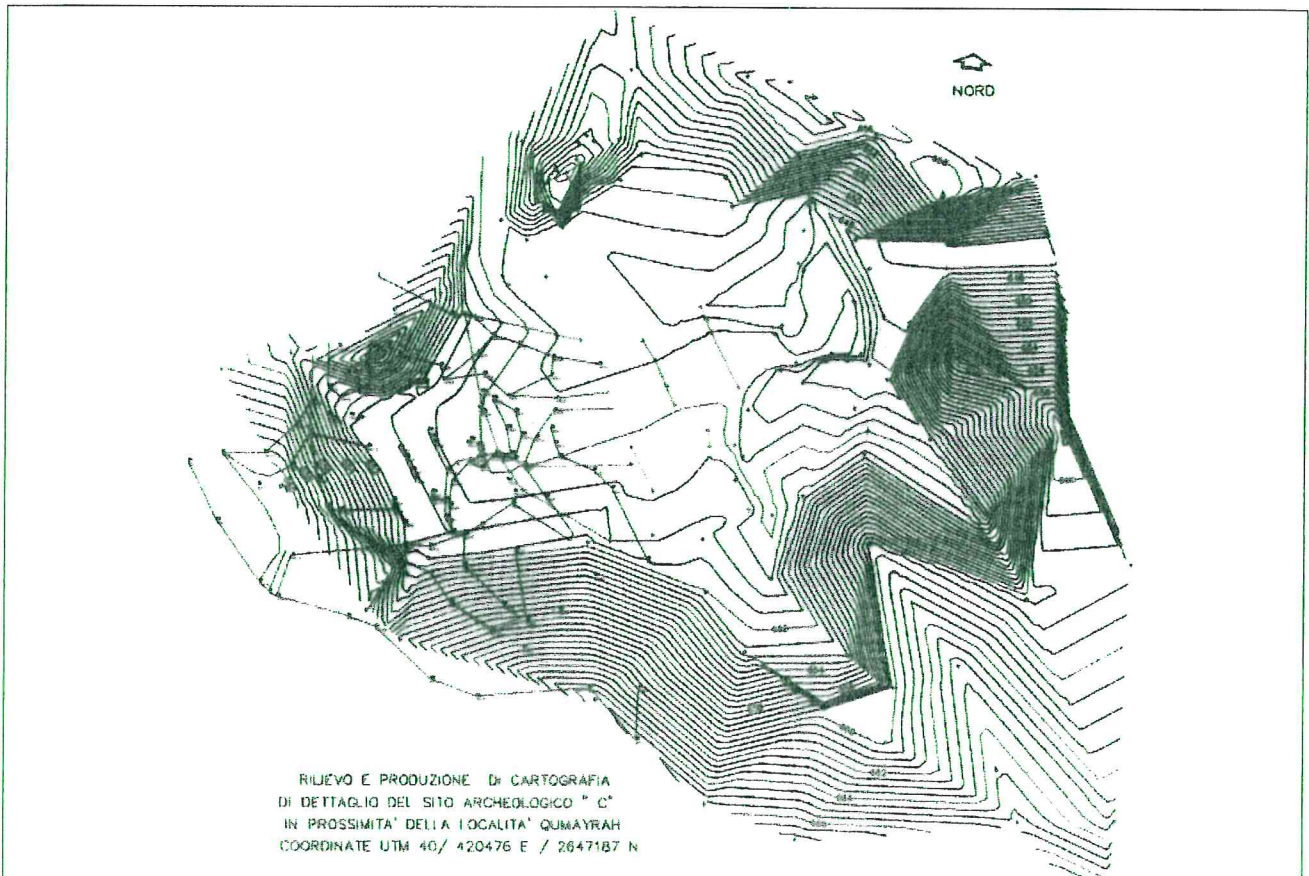
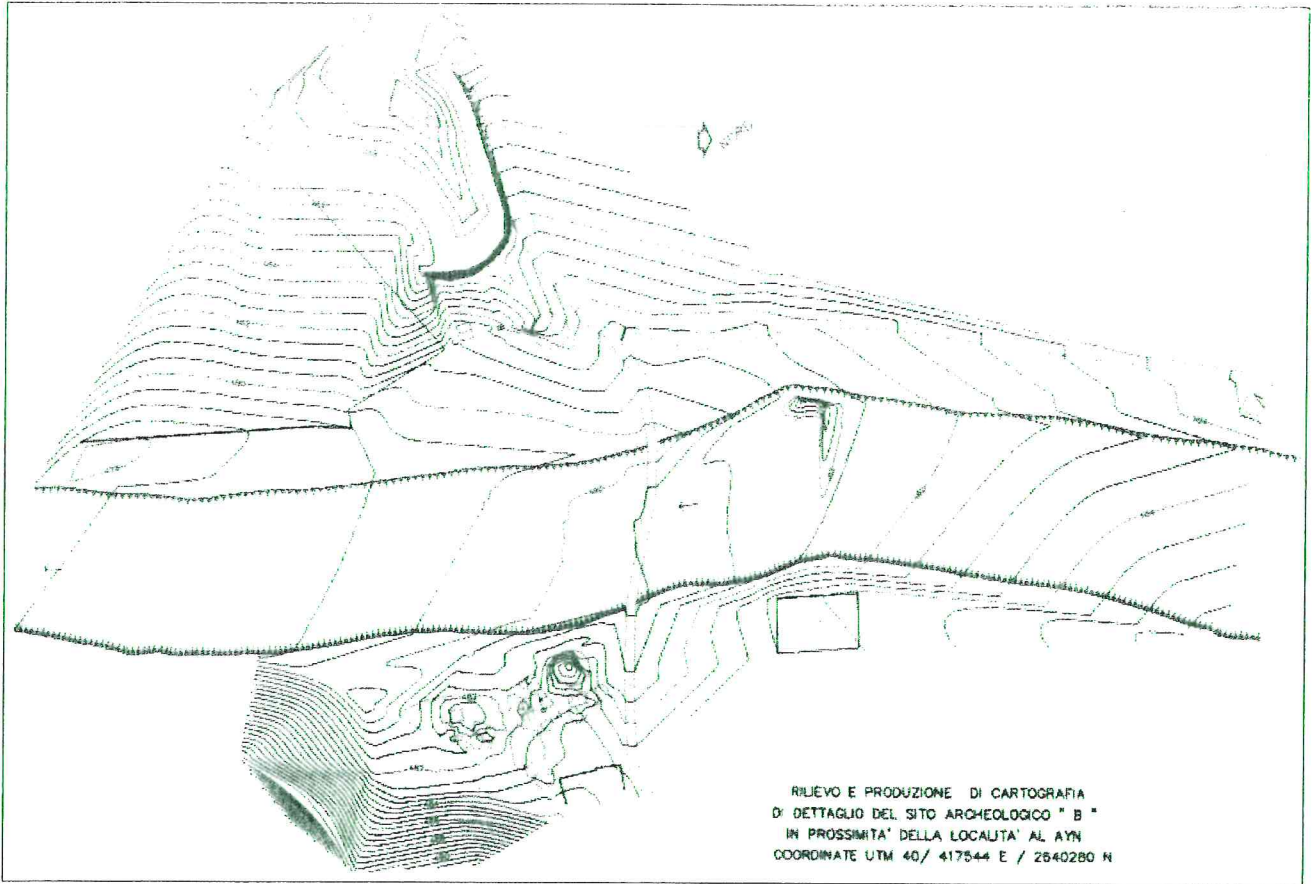
Tharros - Tempio K, come da rilievo archeologico.

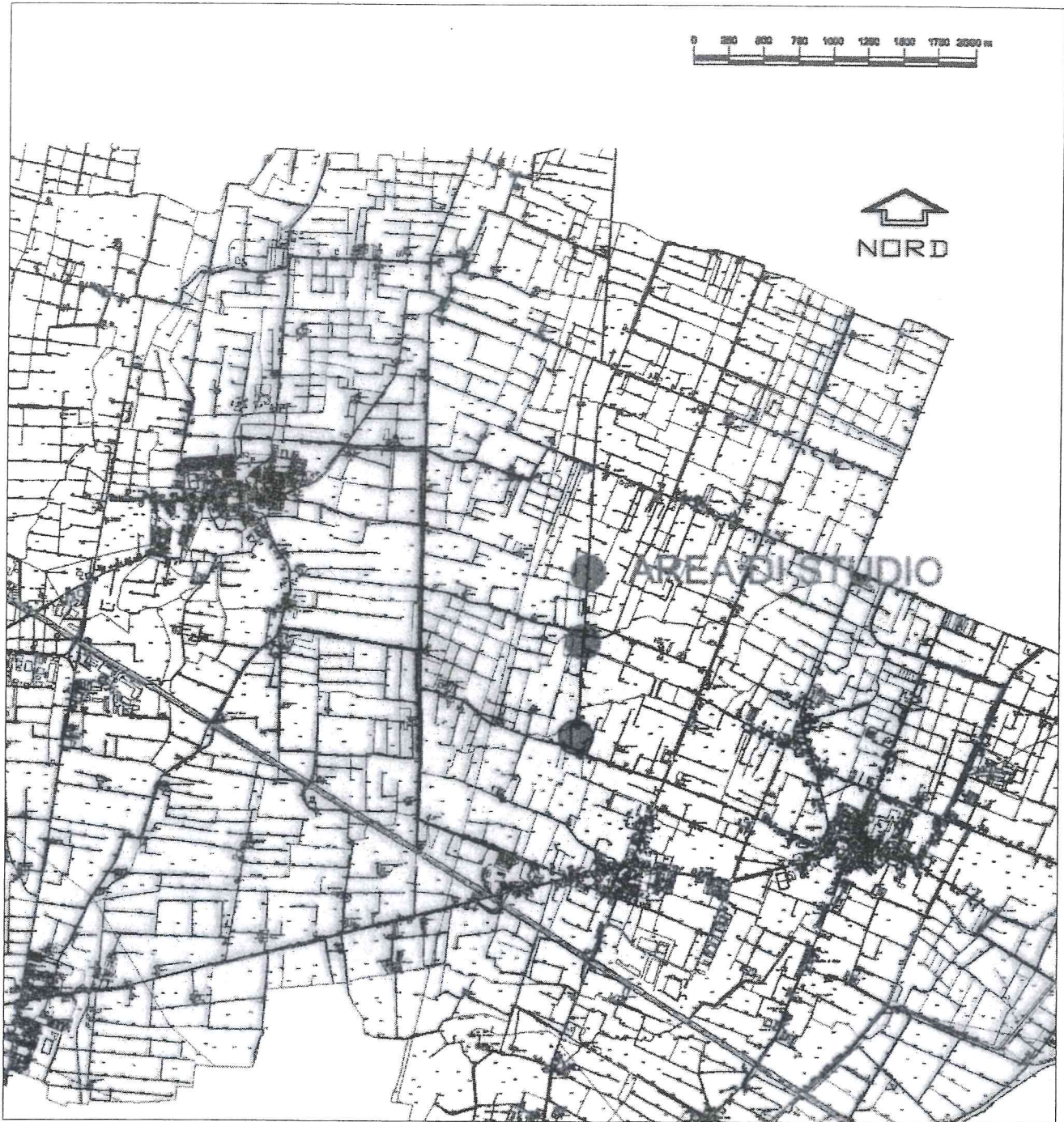
analisi più approfondite ed è aperto a nuovi studi di metodologie per le applicazioni reali. Attualmente si comincia a parlare di G.I.S. (geographical information system; in italiano: sistemi informativi territoriali), che oltre a preparare analisi su grande scala possono contenere informazioni puntuali relative all'oggetto dell'indagine. Si costruisce così una stratigrafia informatica, che permette di visualizzare una serie di dati semplicemente 'cliccando' con il mouse su un elemento del disegno.

Per costruire questi progetti diventa importante la collaborazione tra le varie professionalità, avendo l'umiltà di portare la propria esperienza all'interno di un gruppo di lavoro, o anche solamente di fornire le informazioni che si desidera divulgare. Con questo discorso si vuole proporre quella metodologia informatica che permette di lavorare con basi velocemente aggiornabili, sulle quali ogni ricercatore può concentrarsi maggiormente e relativamente alle proprie competenze. Inoltre, una volta definito il lavoro, si possono selezionare i disegni e archiviare tutto lo svolgersi dei lavori -sempre su supporto magnetico- e lasciare agli esperti di grafica manuale l'esecuzione dei disegni che potranno essere dedicati ad una eventuale pubblicazione. Un rilievo corretto, ed eseguito con una strumentazione completa, permette di lavorare sia su grandi aree che sui dettagli componenti una struttura. Ad esempio, nel-

l'estate del 1998, a Tharros abbiamo eseguito con un gruppo di studenti il rilievo particolareggiato della struttura denominata Tempio K. Tralasciando varie difficoltà legate all'inesperienza degli operatori, e alla lentezza del pur ottimo strumento privo però di registrante dati (proprietà dell'Università) sono stati rilevati circa 6.000 punti. I dati sono stati successivamente inseriti a mano nel software topografico. In questo genere di rilevamento la registrante dati diventa fondamentale, tanto da permettermi di affermare che senza questo piccolo raccoglitore di dati non è pensabile oltrepassare certe definizioni nel rilievo strumentale. E' evidente che gli errori di trascrizione e quelli dovuti all'inserimento dei dati non si sono contati, ma con un buon lavoro d'interpretazione del topografo restitutore, che deve comunque conoscere la materia archeologica e l'oggetto del rilievo, siamo riusciti ad ottenere un buon risultato. Sempre a Tharros, nell'estate del 1997, è stato eseguito il rilievo planoaltimetrico dell'area interessata dall'ipotetico percorso dell'acquedotto che alimentava il castellum aquae della città. In questo caso, dopo avere realizzato un rilievo di circa 800 punti, è stato costruito un modello matematico (D.T.M.) del terreno, che ha permesso l'analisi altimetrica e clivometrica dell'area oggetto di studio. Dopo una accurata analisi, e inserendo sul modello le varie ipotesi (tipo: l'acquedotto su arcate a quota 17 m, quello a quota 14.71 m, quello completamente interrato) sono state proposte le conclusioni elaborate dal Prof. Dario Giorgetti (Università di Ravenna), al Convegno Internazionale "In binos actus lumina", tenutosi a Ravenna nel maggio 1999. Nel febbraio del 1998 si è partecipato ad una spedizione organizzata dai Prof.ri Paolo Costa e Dario Giorgetti in Oman. L'obiettivo primario era di realizzare una cartografia di dettaglio di tre potenziali siti archeologici posti nel nord dell'Oman. In questo caso, sempre utilizzando i dati ottenuti con un rilievo planoaltimetrico eseguito con una "total station", si è costruito il modello matematico (D.T.M.) dei singoli siti, dai quali si sono ottenute planimetrie a curve di livello con equidistanza di 25 cm, e le sezioni desiderate. Essendo la cartografia ufficiale in scala 1:100.000, il posizionamento geografico è stato fatto con G.P.S. portatile dal quale abbiamo ottenuto le indicazioni relative alla nostra posizione nella sfera terrestre (unico collegamento con il resto del mondo), mentre l'altimetria (la quota) dei nostri rilievi è stata ottenuta con delle 'bellissime' triangolazioni ed intersezioni in avanti, collimando le cime delle poche vette riportata la quota altimetrica. Dato che stavamo eseguendo tali calcoli, abbiamo anche quotato varie cime prive di quota.



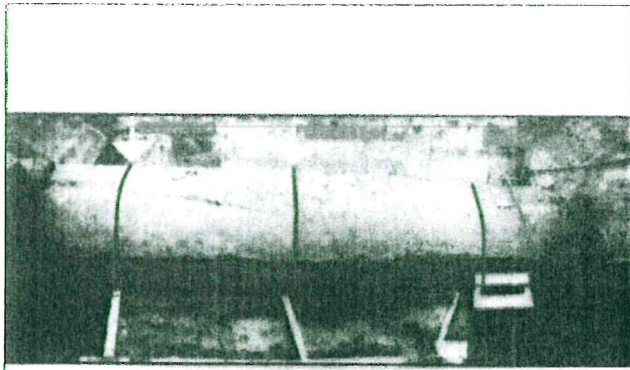




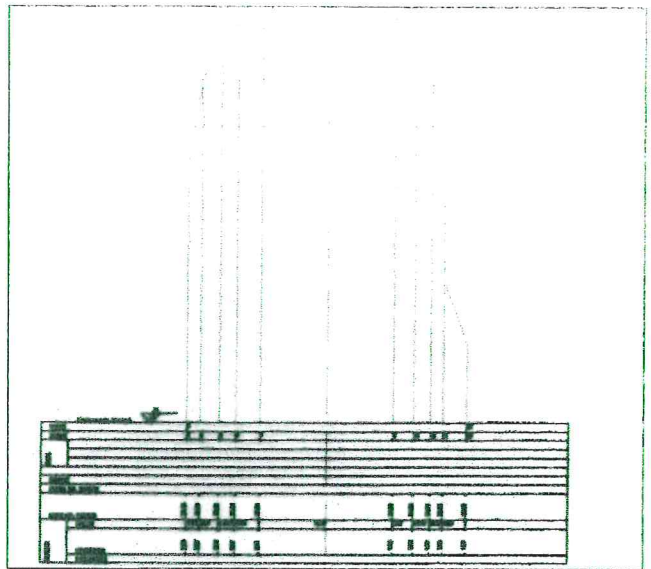
Marzo 1999: rilievo di tronconi dell'acquedotto romano di *Brixellum*, nel comune di Brescello (Reggio Emilia).

Il lavoro di rilevamento di alcuni tronconi dell'acquedotto romano di *Brixellum* è stato appoggiato ad una poligonale G.P.S. già realizzata in precedenza per un altro lavoro. Si è poi passati a rilevare la porzione di manufatto portata allo scoperto: i topografi con la "stazione totale" e gli archeologi con i metodi tradizionali. Il rilievo topografico è stato supportato da un rilievo fotografico con macchina digitale, che ha

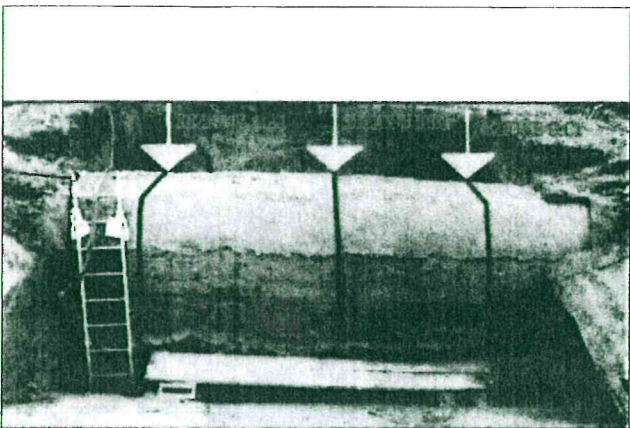
permesso d'inserire i dati del rilievo sull'immagine fotografica. Il risultato finale ha permesso di ottenere precise sezioni della struttura (vedere tavola illustrativa), e la possibilità di produrre disegni in scale diverse (anche 1:10), e riportare il tutto sia su supporto cartaceo che su supporto acetato per conferenza. Anche in questo caso si è dimostrato che è più facile gestire i disegni con il sistema informatico rispetto all'obsoleto sistema tradizionale, il quale deve essere comunque impiegato per la 'insostituibile' rappresentazione artistica manuale.



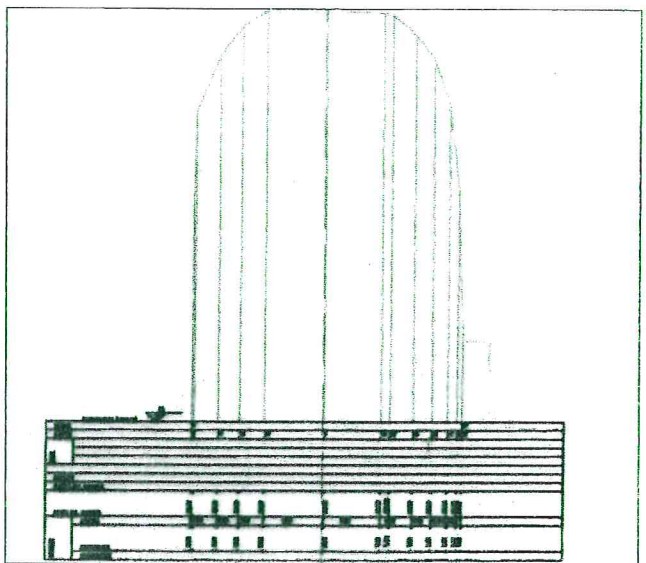
ELEMENTO A VISTA EST-OVEST



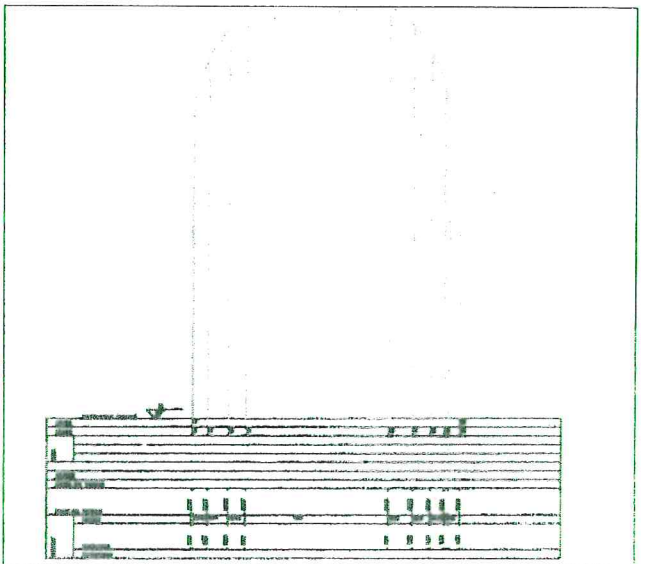
Sezione AA1.



ELEMENTO A VISTA OVEST-EST



Sezione BB1.



Sezione CC1.