ALGUNS RESULTATS EN PROSPECCIONS GEOFÍSIQUES REALITZADES EN JACIMENTS CATALANS

Aplicació de les últimes innovacions en els sistemes de resistivitat elèctrica i gradiometria magnètica

Roger Sala - Maria Lafuente - Jordi Serra
www.sotprospection.com
sotgeophysics@yahoo.es

Resum. Al llarg dels darrers dos anys s'han realitzat en diversos jaciments un seguit d'actuacions amb l'ànim d'introduir a l'arqueologia espanyola els grans avenços dels que han estat objecte, durant la última dècada i a nivell internacional, els mètodes de prospecció geofísica. A continuació presentem els resultats obtinguts per SOT Prospecció Arqueològica en diferents jaciments catalans aplicant les últimes millores en les tècniques de resistivitat elèctrica i gradiometria magnètica.

Abstract. In the last two years, a range of surveys have been done in several archaeological sites in order to introduce the latest improvements in geophysical prospection methods, which have succeed internationally in the last decade, in Spanish Archaeology.
Below, the results of the application by SOT Prospecció Arqueològica of the latest technology in electrical resistivity and magnetic gradiometry methods in several Catalan sites are presented.

Concepte i objectius de la prospecció geofísica

Quan parlem de prospeccions geofísiques aplicades a l'arqueologia ens referim als diversos sistemes de teledetecció no intrusius que, a partir de la medició d'un conjunt de magnituds i característiques del subsòl, ens han de permetre aconseguir una base de coneixements entorn al lloc prospectat. Aquesta informació ens ha de respondre dues preguntes concretes. En primer lloc, la presència o absència de zones amb afectació d'estructures de caire arqueològic i, en segon lloc, l'extensió, delimitació i distribució en l'espai de les restes localitzades.

Aquesta informació ha de permetre a l'arqueòleg agilitzar en gran mesura la planificació de la posterior excavació tant a nivell científic com econòmic, molt particularment en les excavacions d'urgència i en el sector de les obres públiques on, tradicionalment, s'ha vist l'arqueologia com un greu obstacle.

Actualment, existeixen diversos sistemes de teledetecció aplicats a l'arqueologia basats en principis geofísics, tals com la resistivitat elèctrica, els mètodes basats en el magnetisme terrestre (gradiometria magnètica i magnetometria), el radar de subsòl, la microgravimetria o la resonància sísmica. Entre ells, el mètode que s'ha vist més beneficiat per les últimes innovacions tecnològiques i les recents millores informàtiques és el GPR (Ground Penetrating Radar o radar de subsòl), molt particularment gràcies a què també permet la prospecció en zones urbanes tot intervenint sobre terrenys asfaltats i afectats pel clavegueram o altres serveis presents al subsòl urbà. Així, el GPR ha deixat enrere la seva fase inicial limitada en l'aplicació al camp de l'enginyeria, arribant a un estadi de desenvolupament especialment dissenyat per a la seva utilització en la prospecció arqueològica. La paral·lela creació d'un software exclusiu per al tractament de les dades recopilades en la prospecció de camp, possibilita generar un seguit de plantes i seccions, així com recreacions tridimensionals que permeten presentar uns resultats finals de major fiabilitat en la seva interpretació definitiva.

Val a dir però, que els mètodes més veterans i amb més tradició en el camp de la prospecció geofísica aplicada a l'arqueologia són els sistemes de resistivitat elèctrica i gradiometria magnètica, els quals descriurem de manera més detallada a continuació.

Resistivitat elèctrica. Principis geofísics i aplicacions a l'arqueologia

El principi en què es basa aquest sistema és relativament simple. Es tracta de mesurar la resistència que ofereixen els elements que conformen subsòl al pas d'un corrent elèctric d'intensitat i valor coneguts, que variarà en funció de les propietats físico-químiques del volum de sòl estudiat. Les activitats antròpiques (particularment les restes constructives), les evidències de les quals es troben actualment sedimentades a causa dels processos postdeposicionals, es caracteritzen per un seguit de propietats de resistivitat/conductivitat elèctrica sensiblement diferents a la dels elements que les envolten. Per tant, la prospecció consistirà en l'emissió d'un flux elèctric altern a través d'un sistema d'elèctrodes organitzats entre emissors i receptors del corrent, que captaran la resistència o resistivitat dels elements del subsòl, tot atorgant un valor determinat a la resposta obtinguda. Així, s'aniran fent aquestes mesures de manera ordenada per tota la superfície organitzada en quadrícules de prospecció.

El resultat final s'obtindrà posant en comú la informació dels diferents valors de totes les lectures efectuades i generant així un autèntic mapa del subsòl, basat en la major o menor resistència dels elements enterrats al pas del corrent elèctric.

Per altra banda, la diferent configuració entre els elèctrodes utilitzats permet variar les característiques de la prospecció adaptant-la a les necessitats de cada jaciment. A això hi sumem la possibilitat de complementar el lector de la resistivitat amb un *multiplexer*, o alternador de connexions. Aquest accessori permet la lectura simultània dels valors de resistència elèctrica en diferents configuracions d'elèctrodes per a cada posició de lectura, de manera que els resultats ens permeten conèixer en un sol sondeig les propietats de resistència o resistivitat del subsòl a diferents profunditats fins aproximadament 1,5m.

Aquest sistema de prospecció, aplicable també en terrenys de relleu abrupte, resulta especialment indicat per a la localització de restes constructives en pedra, la poca conductivitat de la qual la fa fàcilment diferenciable del sediment que la cobreix. De la mateixa manera, podem reconèixer la presència de roca mare i, per tant, establir la fi de la potència arqueològica. Així mateix, el mètode permet, en menor mesura, la detecció d'altres elements com sitges, zones de combustió o tombes, entre d'altres.

Gradiometria magnètica. Principis geofísics i aplicacions a l'arqueologia

El principi físic en què es basa la prospecció geomagnètica és, en canvi, força diferent. Per entendre el seu funcionament caldrà, en primer lloc, recordar que el globus terraqui conforma un camp magnètic propi a causa de l'abundància en la seva composició de partícules ferromagnètiques, especialment en el seu nucli i mantell. Aquest camp és el que «orienta» l'indicador d'una brúixola, però a desgrat del que pugui semblar, varia segons la nostra posició sobre la superfície terrestre.

La prospecció geomagnètica es basa en la mesura ordenada en l'espai de les variacions locals o totals del valor d'aquest camp magnètic.
Aquest magnetisme corresponent a una zona concreta ve determinat, bàsicament, per la geologia pròpia de l'indret. Ara bé, a alhora, també el magnetisme de cada territori pot patir un seguit d'anomalies en funció de les alteracions que les activitats antròpiques han pogut produir sobre el medi.

Per entendre-ho, podem pensar en el cas paradigmàtic d'un emplaçament la geologia del qual determina un valor geomagnètic *x*. La construcció d'un mur, l'obertura d'una rasa o la presència de qualsevol element que en arqueologia interpretaríem com una unitat estratigràfica negativa, entre d'altres, variaria notablement aquest valor *x*. Es tracta, doncs, d'enregistrar les anomalies magnètiques que les activitats antròpiques realitzades en el passat han generat en el geomagnetisme propi de la zona prospectada.

A partir d'aquest principi, s'han desenvolupat dos aparells bàsics de prospecció geofísica segons el magnetisme terrestre. Parlem del magnetòmetre i el gradiòmetre magnètic. El primer, tracta d'enregistrar les anomalies magnètiques de l'àrea prospectada respecte el magnetisme global de la Terra. El segon, el qual ha estat recentment aplicat a diferents jaciments catalans, detecta aquestes alteracions a un nivell força més concret, respecte el magnetisme específic de l'àrea de prospecció, al qual se li assigna el valor 0, i que en mesura les micro-variacions locals sobre la quadrícula o *grid* de lectura.

Així, obtenim una representació de l'empremta d'aquelles construccions d'origen antròpic que, per les seves característiques químiques, impliquen una alteració de l'ordre magnètic merament geològic. És el cas dels forns, els metalls,

les rases, les sitges o els elements constructius, molt particularment aquells que s'acompanyen amb morters i materials ceràmics.

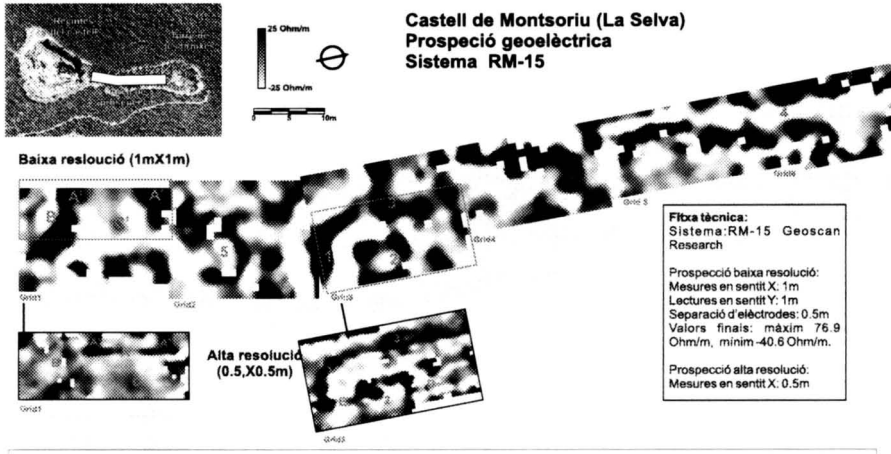
Aquest mètode destaca particularment per la seva agilitat i velocitat de prospecció, permetent cobrir grans extensions en molt poc temps i arribant a una profunditat de sondeig al voltant de 1,5m.

Sistemes informàtics de tractament de la informació

Per aconseguir els resultats definitius de la prospecció, però, ens hem de servir d'un conjunt de programes informàtics especialment ideats per al tractament de la informació recopilada durant els treballs de camp. Els resultats obtinguts en la prospecció es tracten com sèries estadístiques que es poden sotmetre a un seguit de processos matemàtics dissenyats per a eliminar el «soroll» generat per les característiques geològiques del terreny, millorar-ne la resolució o estudiar-ne la distribució en l'espai. Aconseguim així, uns resultats definitius on pren rellevància el contingut arqueològic respecte tota aquella informació que podria emmascarar la correcta interpretació de la prospecció.Més enllà del filtratge de la informació, és possible també presentar els resultats en formats visuals pràctics que sintetitzen les dades de la prospecció donant un cop de mà extra a l'arqueòleg en la seva tasca a l'hora d'interpretar els resultats obtinguts.

Prospecció geoelèctrica a Montsoriu

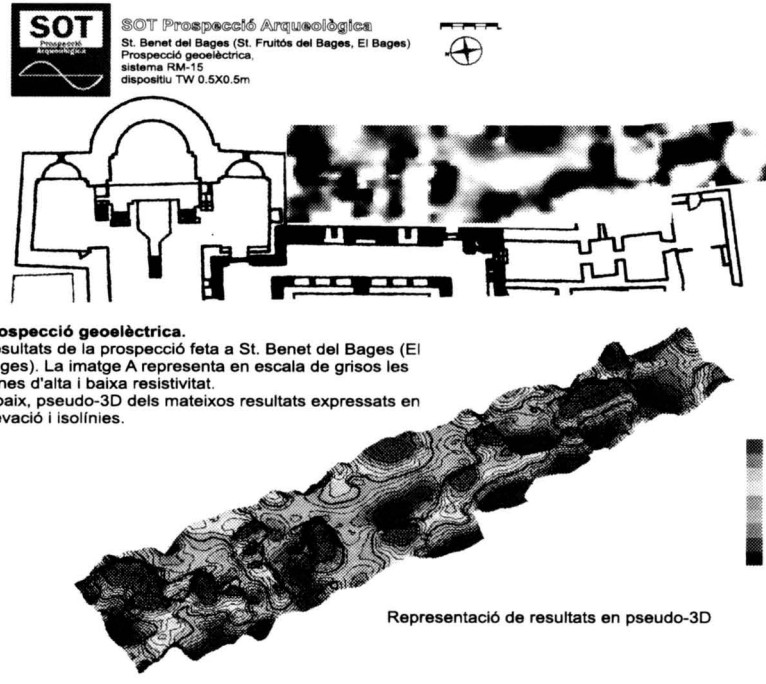
L'exemple de prospecció en la zona boscosa que separa el castell de Montsoriu de la torre de les Bruixes (Arbúcies, la Selva) resulta paradigmàtic a l'hora de mostrar la capacitat de detecció del sistema geoelèctric en terrenys de topografia complexa. La següent imatge representa els elements detectats a una profunditat de fins a 1,5 m. segons la major o menor conductivitat dels elements del subsòl, expressada en un format gràfic a partir d'una escala de grisos.
El sondeig geoelèctric presenta la possibilitat de realitzar la prospecció en alta o baixa resolució, és a dir, amb una menor densitat de lectures i una durada del treball de camp força menor (baixa resolució), de la que en deriven uns resultats més esquemàtics però molt adequats per a la detecció ràpida de zones d'afectació arqueològica, o bé amb una major densitat de lectures i major temps de prospecció (alta resolució), amb una mostra molt més concreta i ben definida de totes aquelles estructures localitzades.



La prospecció geoelèctrica.
La prospecció es realitzà en una zona boscosa de topografia irregular on hi ha diverses estructures en superfície.
El sondeig va permetre delimitar diverses anomalies com la paral·lela al mur perimetral (4) corresponent a un rebaix de la roca mare per generar una zona de pas. Un cas similar és l'anomalia 1, que volta l'estructura quadrada (2), i que permet distingir un element constructiu (en negre) i una zona de pas (en blanc).
La prospecció en alta ressolució efectuada sobre els grids 1 i 3 permet definir més detalls. L'estrenyement en el pas (E) de l'estructura 1, l'estructura A i el possible murs3 i D.

Prospecció geoelèctrica al monestir de Sant Benet de Bages.

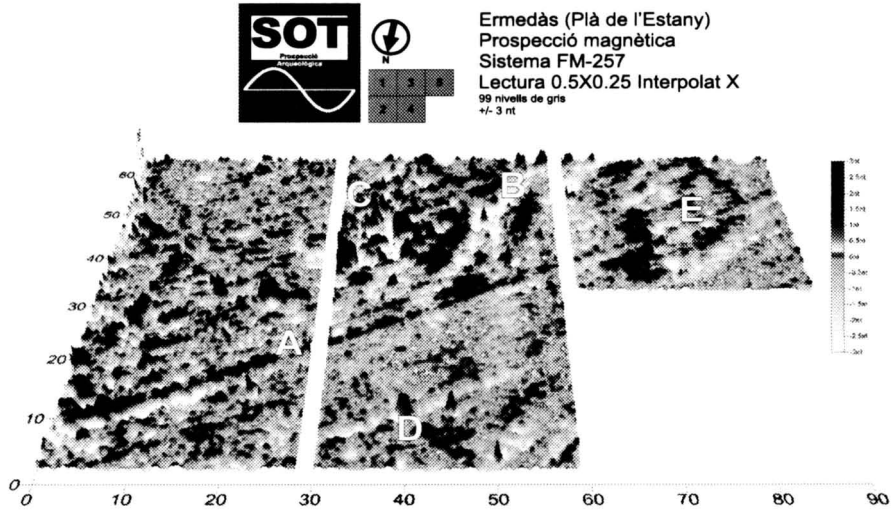
El cas de la prospecció al monestir de Sant Benet de Bages (Sant Fruitós, Bages) cal emmarcar-lo dins el conjunt d'actuacions prèvies a la definitiva restauració d'aquest emplaçament. L'objectiu, doncs, era determinar l'existència o absència d'estructures constructives al voltant dels murs orientals de l'actual edifici, per tal d'optimitzar la planificació d'una posterior intervenció arqueològica. En la representació dels resultats podem apreciar l'existència d'un conjunt de murs, tant paral·lels com perpendiculars a l'edifici, corresponents a una de les múltiples fases dins la llarga seqüència cronològica del monestir de Sant Benet.

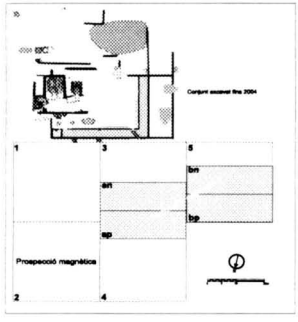


Prospecció geoelèctrica.
Resultats de la prospecció feta a St. Benet del Bages (El Bages). La imatge A representa en escala de grisos les zones d'alta i baixa resistivitat.
A baix, pseudo-3D dels mateixos resultats expressats en elevació i isolínies.

Prospecció geomagnètica a Ermedàs.

El jaciment d´Ermedàs (Ermedàs, Pla de l´Estany) està constituït per un conjunt de forns romans per a la producció de ceràmica i materials constructius. Aquest establiment, parcialment excavat, se situa en una ampla explanada ocupada per una zona de conreu en desús. En aquest cas, la prospecció amb gradiòmetre magnètic es presentava com la més idònia a l'hora de localitzar noves estructures relacionades amb la zona ja excavada, doncs l'existència de forns genera una important alteració en l'ordre magnètic propi del subsòl.
En la imatge, observem la traça d'aquestes alteracions geomagnètiques amb la seva corresponent interpretació.





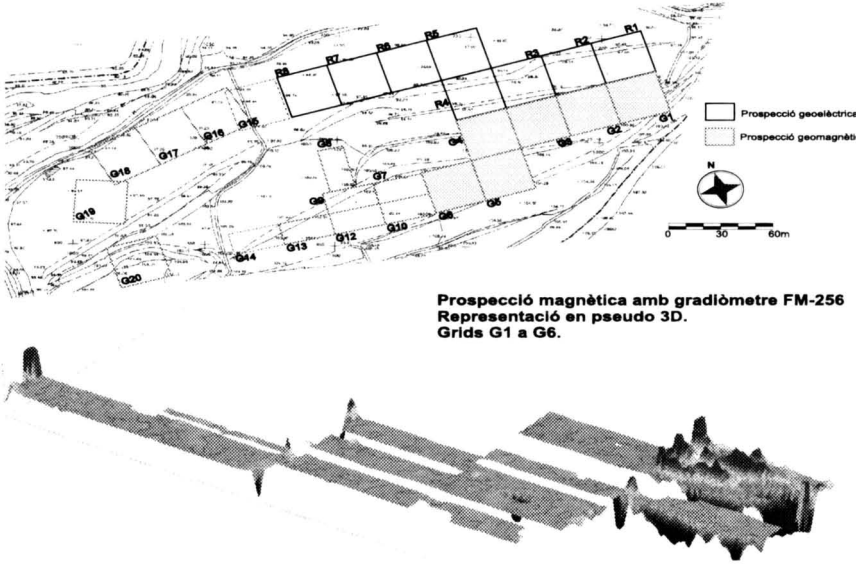
Interpretació d'anomalies detectades
Tot hi que el sistema de representació visual és similar, la resposta magnètica i la seva interpretació són remarcablement diferents respecte el cas de la prospecció geoelèctrica.

A: Element longitudinal possiblement identificable amb una canalització. L´obertura de la rasa per a la seva construcció genera una alteració magnètica.
B:Anomalia bipolar generada per un moviment de terres. Possible zona d´extracció d´argiles.
C: Zona de forta alteració magnètica. Atribuïble a construccions termoalterades o amb materials ceràmics, com és el cas de forns i estructures associades.
D: Traça magnètica característica d´un objecte metàl·lic. Localitzat entre 70 i 90 cm de profunditat.
E: Empremta magnètica positiva causada per restes constructives. Tot i que l´estructura conserva elements linials, gran part de la traça és difusa.

Prospecció geomagnètica a Can Pons.

Can Pons (Arbúcies, la Selva) es troba en una àmplia superfície aterrassada d'uns 5000 metres quadrats als peus del Montseny. Allí s'hi planificà la construcció d'una urbanització en l'entorn proper a l'establiment ibèric de Can Pons, excavat uns anys ençà. Calia, doncs, realitzar una prospecció preventiva que resolgués la incògnita de la possible presència d'altres estructures arqueològiques, sense entorpir el correcte desenvolupament de les obres de l'empresa constructora.

Les restes localitzades es poden apreciar en la següent representació, que també visualitza la gran extensió coberta amb el sistema de prospecció geomagnètica. Les característiques geològiques del lloc, bàsicament argiles de deposició relacionades amb la proximitat de la riera d'Arbúcies, conformen una geologia de certa uniformitat magnètica, en contrast amb les alteracions, molt localitzades, generades per les estructures detectades i enregistrades pels sensors del gradiòmetre.



Prospecció magnètica amb gradiòmetre FM-256
Representació en pseudo 3D.
Grids G1 a G6.

El gradiòmetre magnètic com a eina ràpida de localització i delimitació de jaciments:

La prospecció preventiva realitzada a Can Pons (Arbúcies, La Selva) on es construia un aurbanització en una zona próxima a un jaciment excavat temps enrera, va prmetre la detecció de dues petites estructures com la de la imatge. Els pics posiius i negatius de la senyal magnètica (a la dreta) corresponen a la traça magnètica de les estructures detectades. La seva presència va ser contrastada gràcies al posterior seguiment d´obra.
La prospecció amb gradiòmetre magnètic permet cobrir grans extensions de terreny en molt poc temps. En el cas de Can Pons, es rastrejà una zona de més de 5000 m2 en només dos dies.