

# La geofísica aplicada: una eina de suport al coneixement geològic i geotècnic de zones urbanes

Sara Figueras\*, Beatriz Benjumea, Anna Gabàs i Albert Macau



## Reflexió

**Estudiem el subsòl buscant resposta a les següents preguntes:**

- Què hi ha?
- Quines propietats té?
- En quin estat es troba?
- Què li està passant?

Per a conèixer l'estructura i les propietats del subsòl a certa profunditat necessitem **complementar** els estudis geològics amb estudis de prospecció geofísica.



# Índex

**La geofísica aplicada**  
**Base de dades geofísiques de Catalunya**  
**Estudis geofísics en entorns urbans**  
**Introducció**  
**Exemples d'aplicació**  
**Consideracions finals**



# Índex

## **La geofísica aplicada**

Base de dades geofísiques de Catalunya

Estudis geofísics en entorns urbans

Introducció

Exemples d'aplicació

Consideracions finals



## La geofísica aplicada

- La **geofísica aplicada** és una branca de la Geofísica que utilitza diferents mètodes i eines d'adquisició i tractament de mesures realitzades des de l'aire, en superfície o en pous per conèixer la naturalesa, l'estat i la disposició dels materials geològics del subsòl.
- Aquestes tècniques permeten mesurar determinades propietats físiques (elèctriques, elàstiques, magnètiques, gravimètriques, radioactives, etc.) dels materials del subsòl i tenen aplicació en projectes de diferents escales, problemàtiques i objectius.
- Els models geofísics que s'obtenen del processat de les dades s'integren amb la geologia per obtenir models realistes del subsòl.



## Introducció

# Mètodes d'exploració geofísica que utilitza l'ICGC



- Sísmics (SRA, SRX, MASW, H/V, Array).
- Elèctrics (ERT).
- Magnetotel·lúrics (AMT, CSAMT, MT).
- Diagrafiés. (Temperatura-Conductivitat, Inducció electromagnètica, Elèctrica, Gamma natural, Sònica, Televiwer acústic, Caliper).
- Registre i anàlisi de vibracions induïdes per voladures.

<http://www.icgc.cat/Ciutada/Informa-t/Sobre-la-Geologia-i-la-Geofisica-aplicada/Geofisica-aplicada>



# Índex

La geofísica aplicada

## **Base de dades geofísiques de Catalunya**

Estudis geofísics en entorns urbans

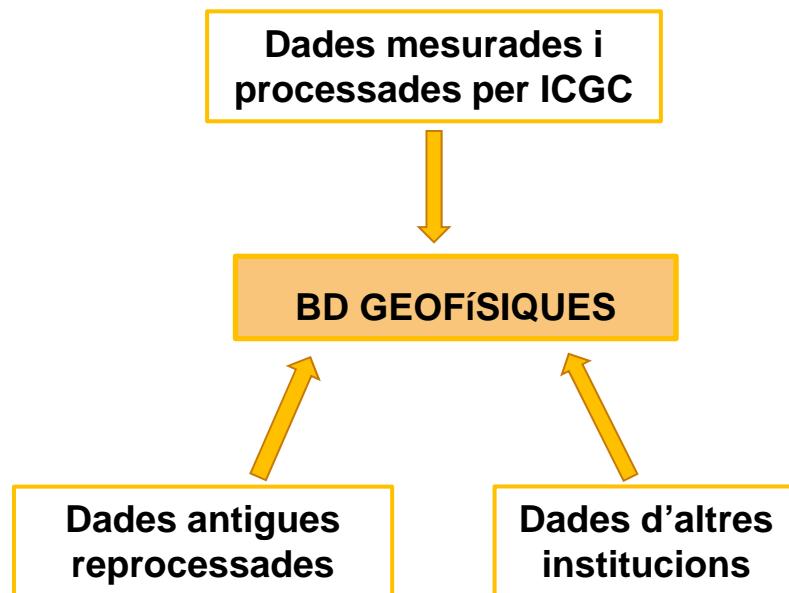
Introducció

Exemples d'aplicació

Consideracions finals



## Base de dades geofísiques de Catalunya



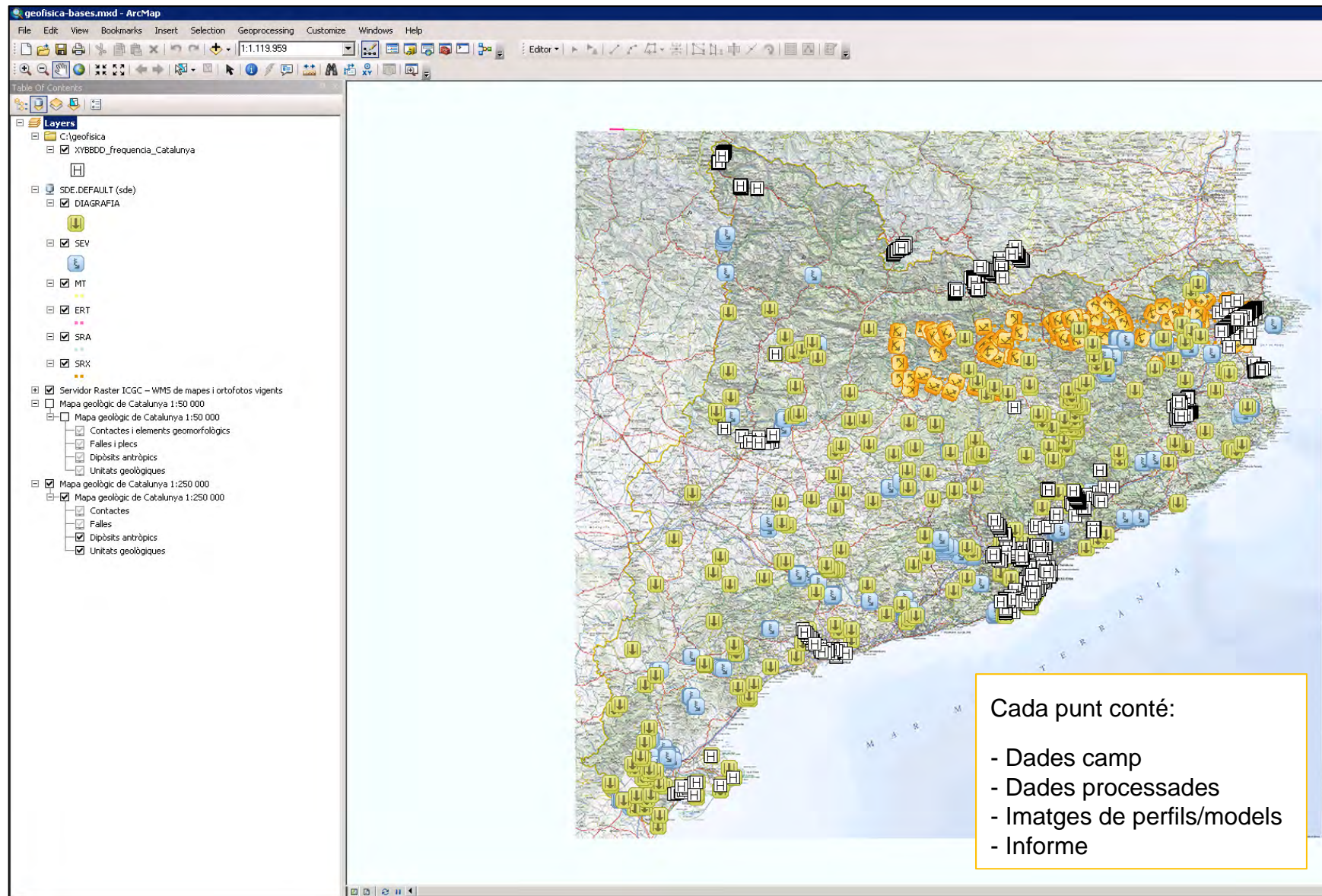
### Estat actual de la BD

- SEV: 612 punts
- Tomografia elèctrica: 218 perfils
- Perfils magnetotel·lúrica: 8 perfils
- Diagrafies: 363 pous
- Tomografia sísmica de refracció: 309 perfils
- Sísmica de reflexió: 52 perfils
- Sísmica passiva. H/V:1418p
- Campanyes Aero-magnètiques:  
177214 mesures, 1 cada 200 m.
- Gravimetria terrestre: 5381 mesures a Cat.

**43 Arrays i 30 MASW, pendent d'implementar**



## Servidor FORCANADA: Càrrega de dades geofísiques (H/V, diagrafia, SEV, MT, ERT, SRA, SRX, Array, MASW)



Cada punt conté:

- Dades camp
- Dades processades
- Imatges de perfils/models
- Informe



# Índex

La geofísica aplicada

Base de dades geofísiques de Catalunya

**Estudis geofísics en entorns urbans**

**Introducció**

Exemples d'aplicació

Consideracions finals



**Coneixement del subsòl en zones urbanes**



- Planificació i manteniment d'infraestructures
- Avaluació i mitigació de riscos geològics
- Recursos geotèrmics, etc...

### GEOLOGIA URBANA



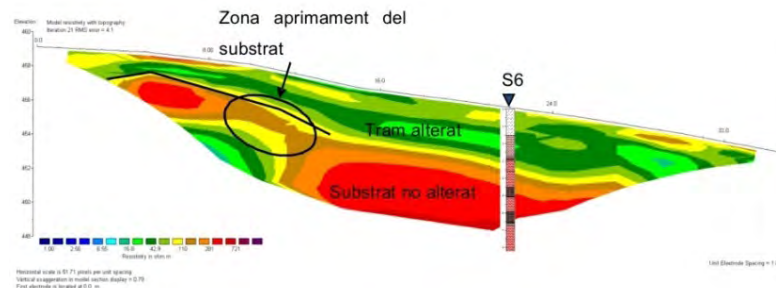
- Sondeigs, excavacions
- Limitacions: augment del cost i perturbacions en zones residencials
- Els sondeigs caracteritzen les litologies del subsòl en un punt.



### GEOFÍSICA URBANA



- Mètodes no invasius, no destructius i de baix cost.
- Permet millorar el coneixement geològic 2D/3D del subsòl.
- Limitacions: fonts de soroll, restriccions logístiques.
- Tendència actual: adaptació de tècniques tradicionals a entorns urbans i implementació de tècniques que aprofiten el soroll.



***Propietats físiques i variacions laterals de les litologies identificades en el sondeig***



# Índex

La geofísica aplicada

Base de dades geofísiques de Catalunya

**Estudis geofísics en entorns urbans**

Introducció

**Exemples d'aplicació**

Consideracions finals



## Exemples d'aplicació

- Tècniques Geofísiques utilitzades
- Girona - Microzonació sísmica
- Bigues i Riells - Patologies en habitatges
- Sant Feliu de Llobregat - Subsidiència
- Sallent -Subsidiència
- Santa Coloma de Gramenet (metro-L9) - Geotèrmia



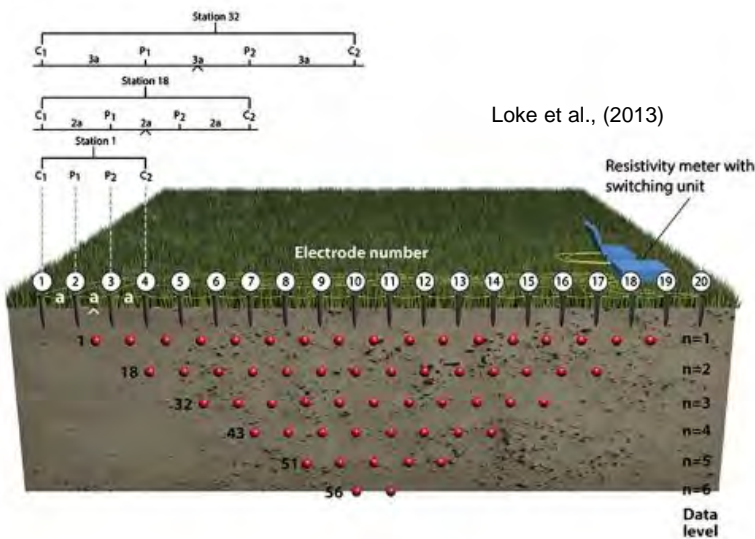
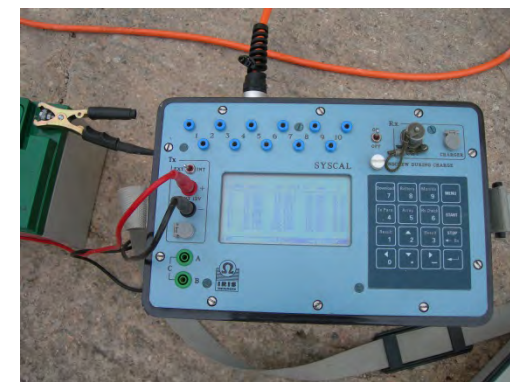
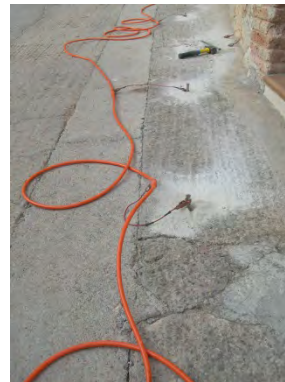
## Exemples d'aplicació

- Tècniques Geofísiques utilitzades
- Girona - Microzonació sísmica
- Bigues i Riells - Patologies en habitatges
- Sant Feliu de Llobregat - Subsidiència
- Sallent -Subsidiència
- Santa Coloma de Gramenet (metro-L9) - Geotèrmia

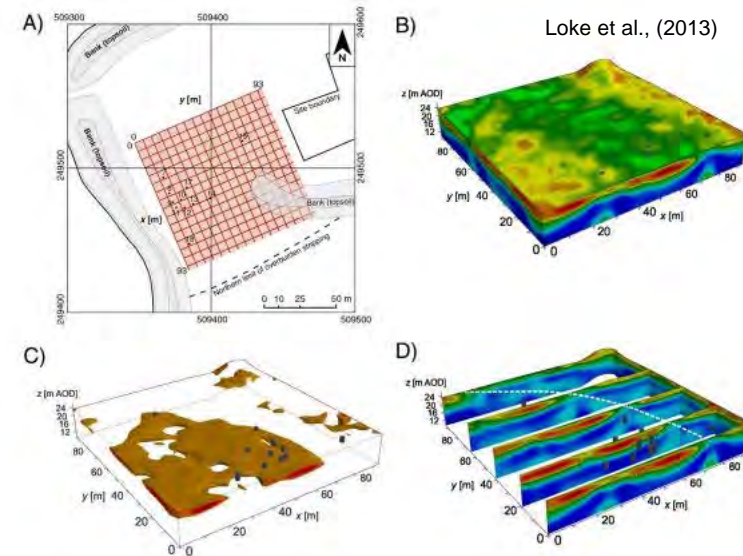


# Tomografia elèctrica

Mesura de la variació del potencial elèctric ( $\Delta V$ ) per a obtenir el valor de la resistivitat aparent del medi ( $\rho_a$ ) a partir de la intensitat ( $I$ ) injectada:  $\rho_a = K \cdot (\Delta V) / I$



Loke et al., (2013)

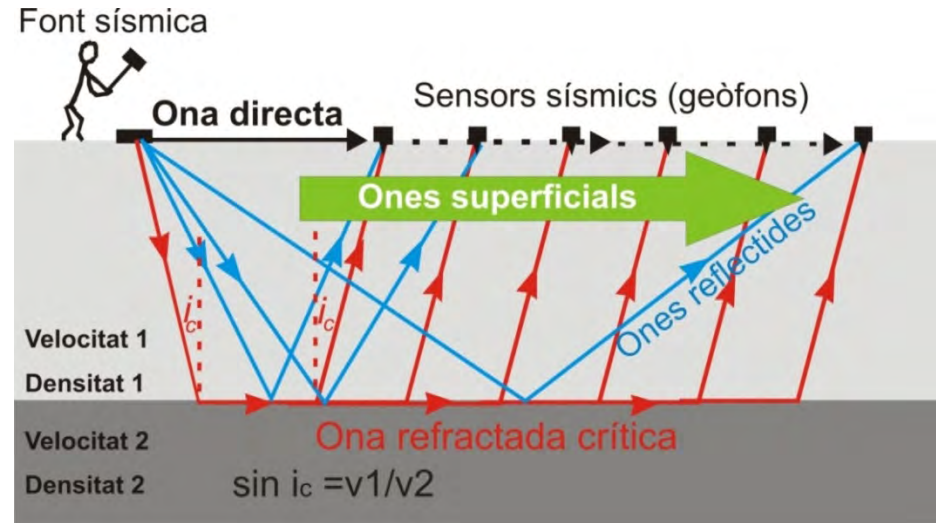


La tècnica de la tomografia elèctrica caracteritza el subsòl a través del paràmetre físic de la resistivitat elèctrica. Descriu les litologies (estructures horitzontals i verticals) i si aquestes es troben afectades per la presència de fluids.

# Sísmica Activa

Estudi del subsòl a partir de l'anàlisi de la propagació de les ones sísmiques.

Aquestes tècniques impliquen la generació (font sísmica), la transmissió i la detecció de senyals sísmics (sensors sísmics).



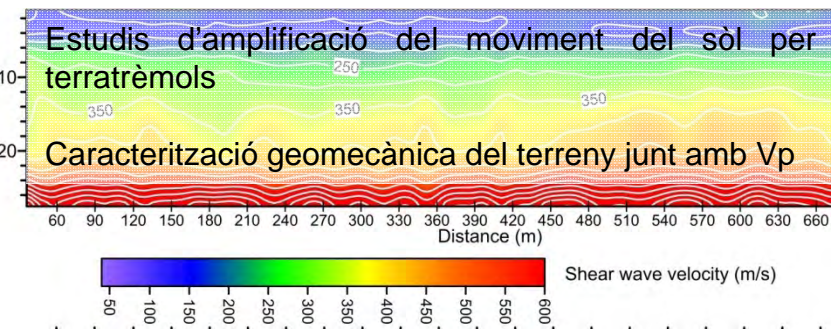
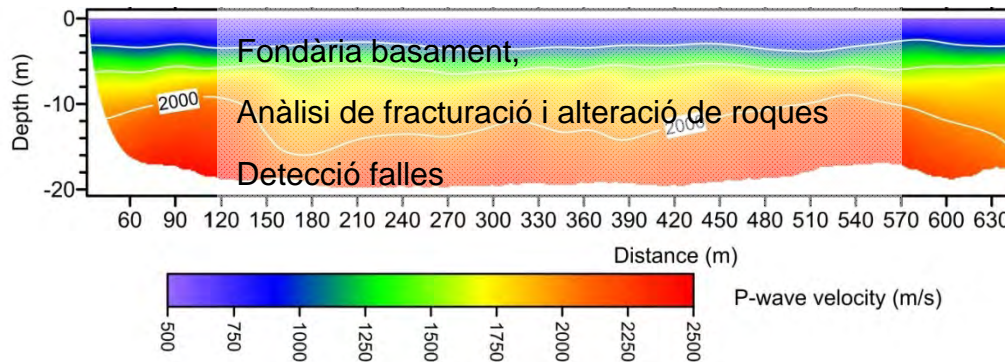
Ones refractades crítiques (temps d'arribada)

Ones superficials



Models de velocitat ones P

Models de velocitat ones S

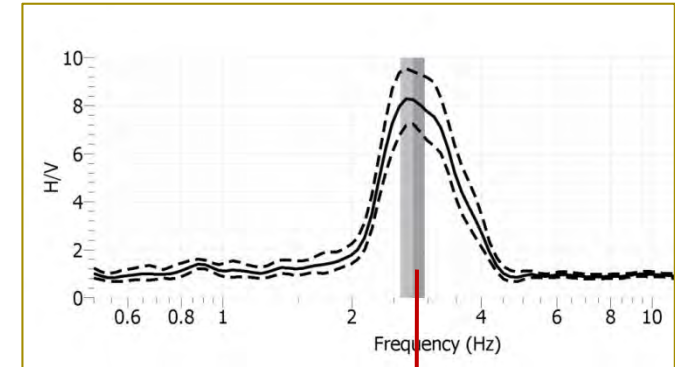
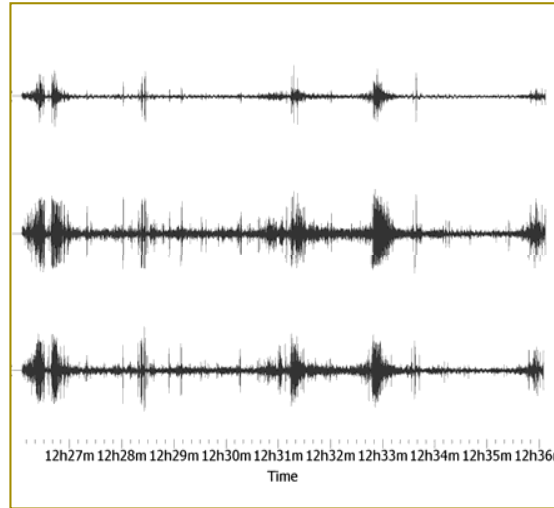




# Sísmica Passiva

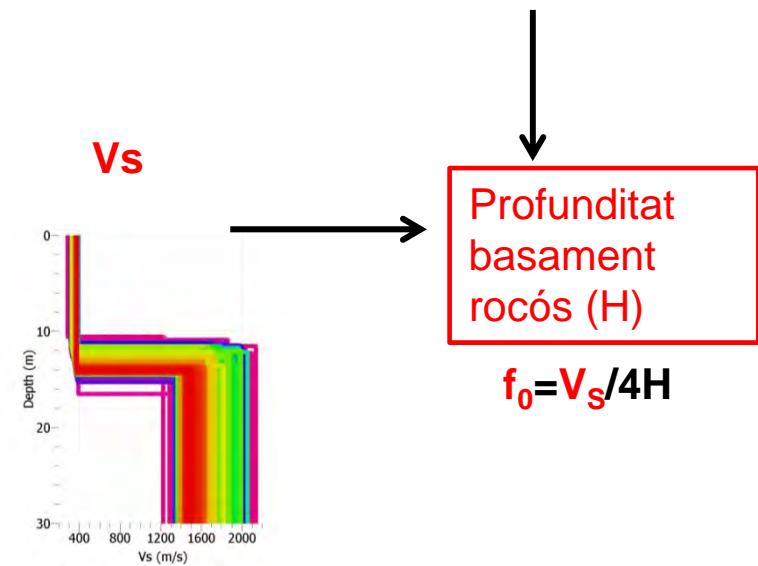
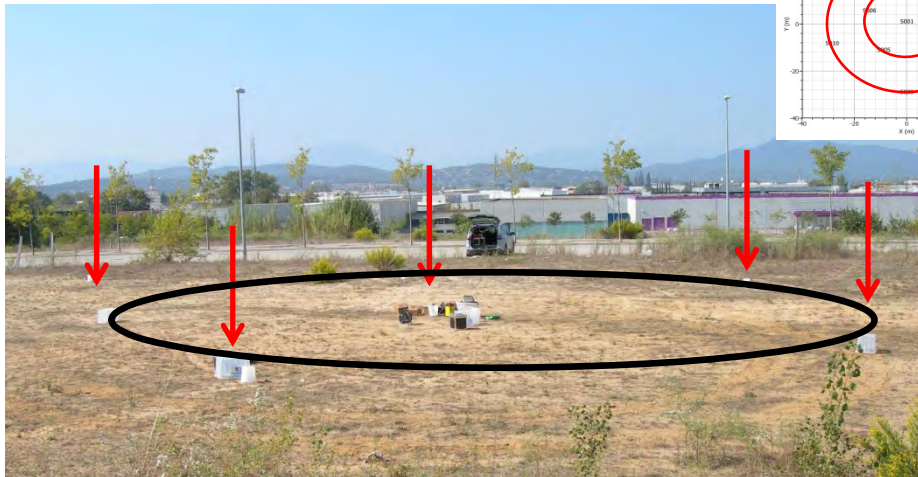
Registre de soroll sísmic puntual o simultani en una geometria de sensors

H/V



$f_0$   
freqüència fonamental del sòl

ARRAY



## Exemples d'aplicació

- Girona - Microzonació sísmica
- Bigues i Riells - Patologies en habitatges
- Sant Feliu de Llobregat - Subsidiència
- Sallent - Subsidiència
- Santa Coloma de Gramenet (metro-L9) - Geotèrmia



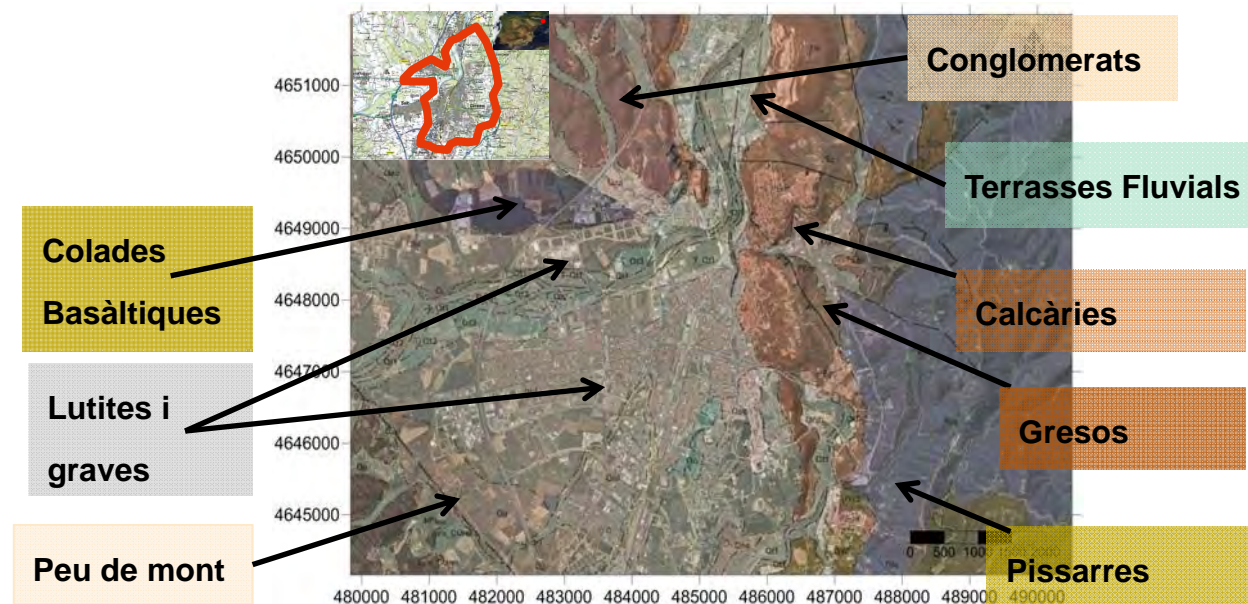
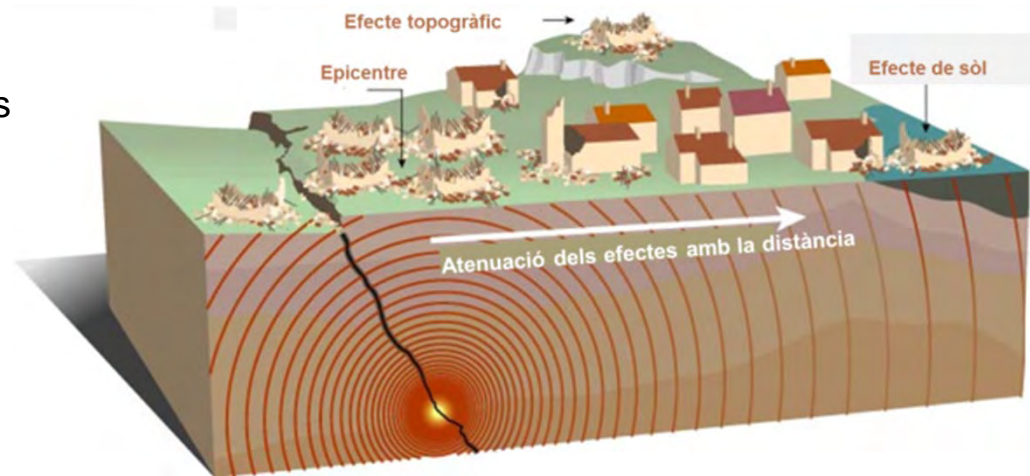
■ **Objectiu:**

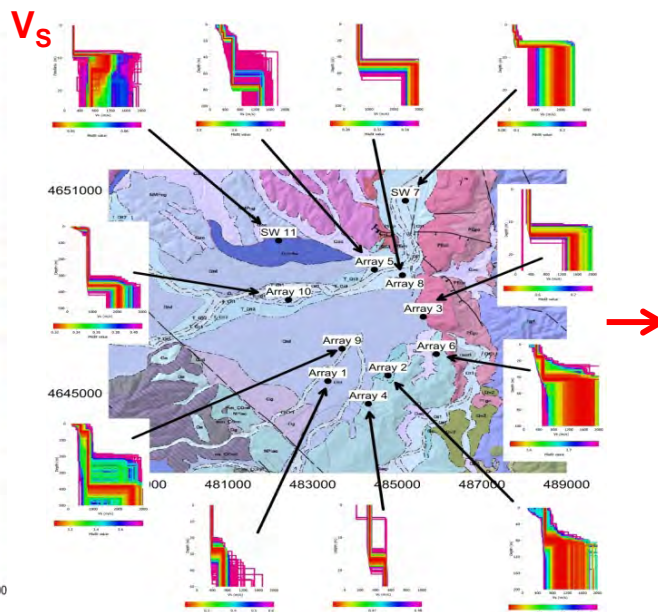
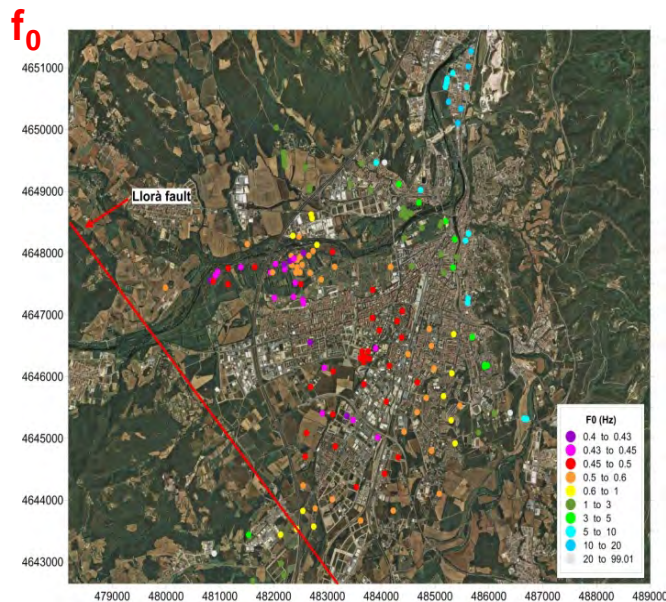
Conèixer la resposta sísmica dels sòls de la ciutat de Girona i la possible amplifacació de les ones sísmiques deguda a les característiques geològiques, litològiques i geomecàniques de les formacions superficials

■ **Metodologia:**

**Mètodes geofísics:** Sísmica passiva: H/V en 100 emplaçaments i 10 Arrays.

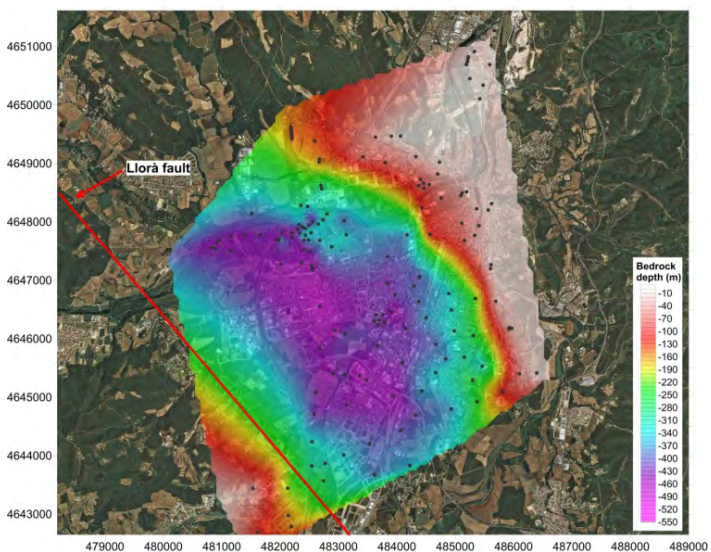
**Mètodes numèrics:** Modelització resposta sísmica del sol.





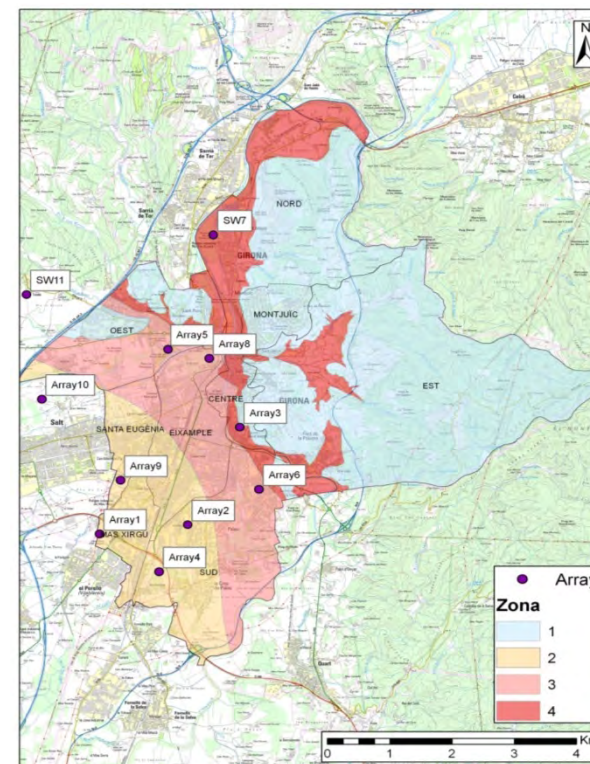
Descripció	$V_s$ (m/s) 30 m superiors
Roca compacta	> 1500
Roca	760 – 1500
Sòl molt dens i roca tova	360 – 760
Sòl rígid	180 – 360
Sòl tou	< 180

Profunditat del basament rocós  $f_0 = V_s / 4H$



Modelització

Zona	$\Delta I$	$F_0$	Amplif.
1	+0.0	roca	0
2	+0.5	< 1 Hz	2 – 3
3	+1.0	1 – 5 Hz	4 – 5
4	+1.0	> 5 Hz	5 – 9

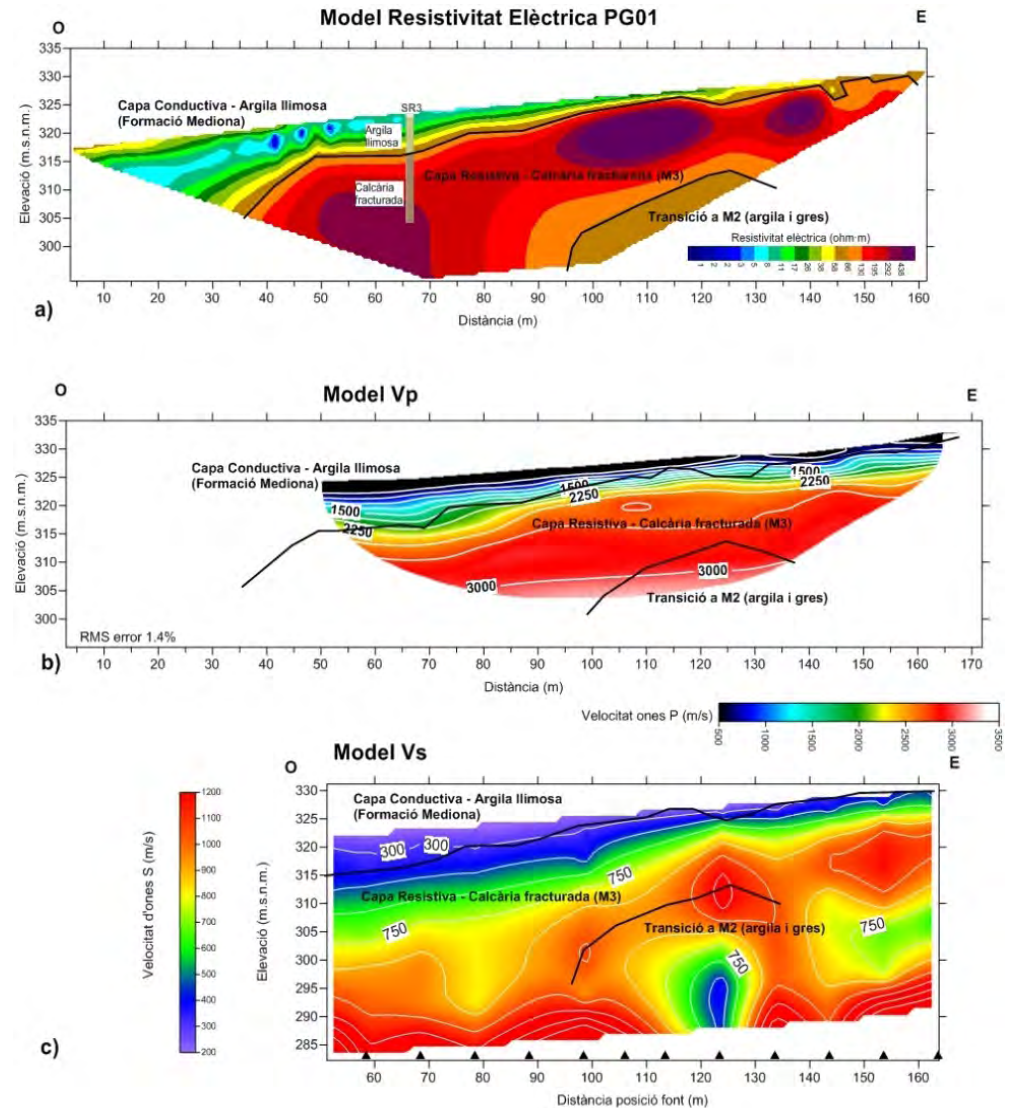
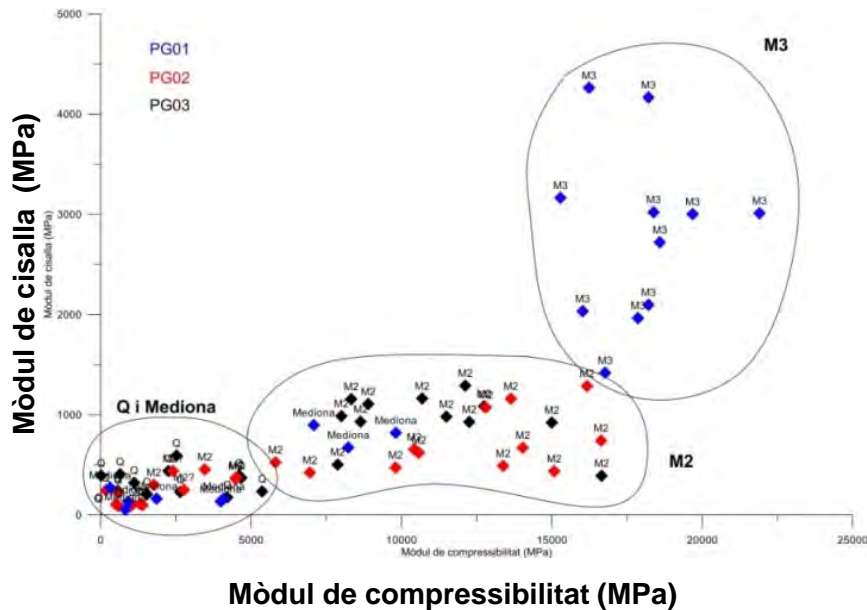


# Bigues i Riells - Afectació d'habitatges

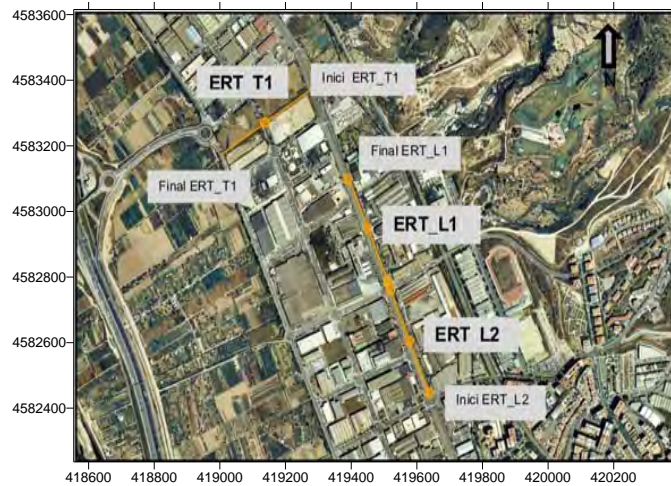
**Objectiu:** Complementar els estudis geològics donant continuïtat lateral i vertical a la informació puntual dels sondeigs. Caracterització geomecànica de les unitat geològiques mitjançant paràmetres elàstics.

**Metodologia:** 6 perfils de tomografia elèctrica i sísmica (Vp i Vs) i 29 mesures sísmica passiva (H/V) en zona urbana.

**Resultats:** Delimitació dels contactes argila-calcària fracturada i argila-gresos; també del contacte entre el material no consolidat/poc cimentat i la roca calcària sana o fracturada reomplerta d'argila.



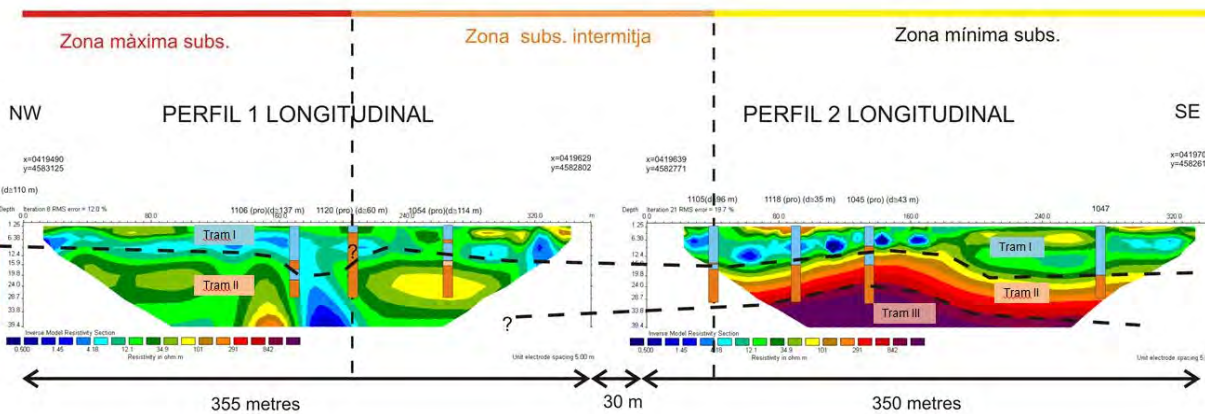
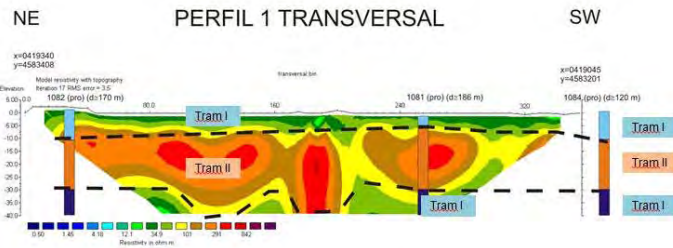
En aquesta àrea s'ha detectat i mesurat un moviment vertical del terreny de 0,7 cm/any en el període 1993-2006.



**Objectiu:** Caracteritzar els materials que formen el subsòl de la zona, fins uns 40 m de fondària.

**Metodologia:** 3 Perfils ERT de 72 elèctrodes separats 5 m entre ells. Dos perfils longitudinals i un perfil transversal amb la configuració Wenner-Schlumberger.

**Resultat:** S'ha pogut observar que la zona d'alta subsidiència coincideix amb un canvi important en el model geoelectric.



- Tram I: material quaternari (argila i llims) substrat del pliocè (argila blava, compacta)
- Tram II: material quaternari (sorres i graves)
- Tram III: Material quaternari (graves cimentades)

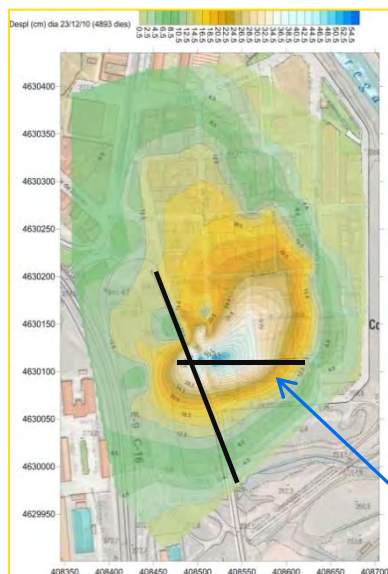
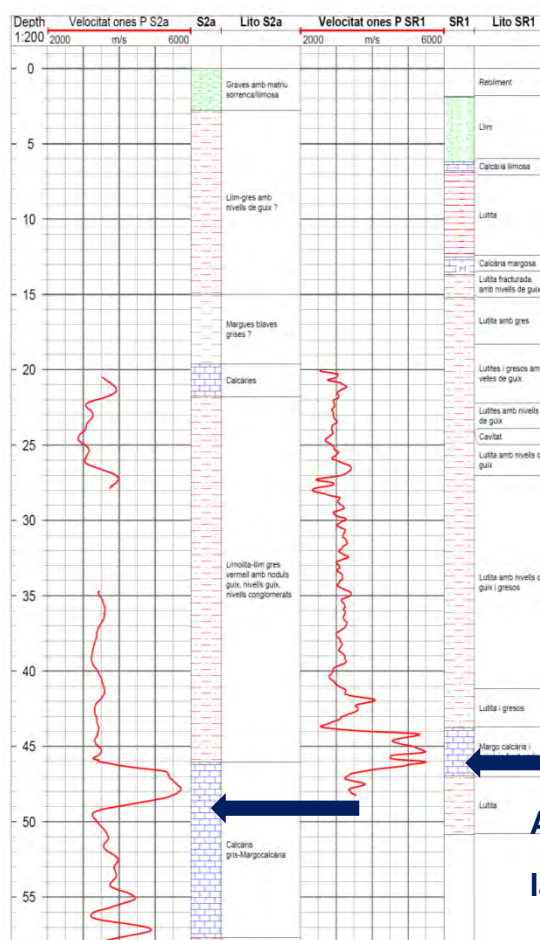


# Sallent - Subsidiència

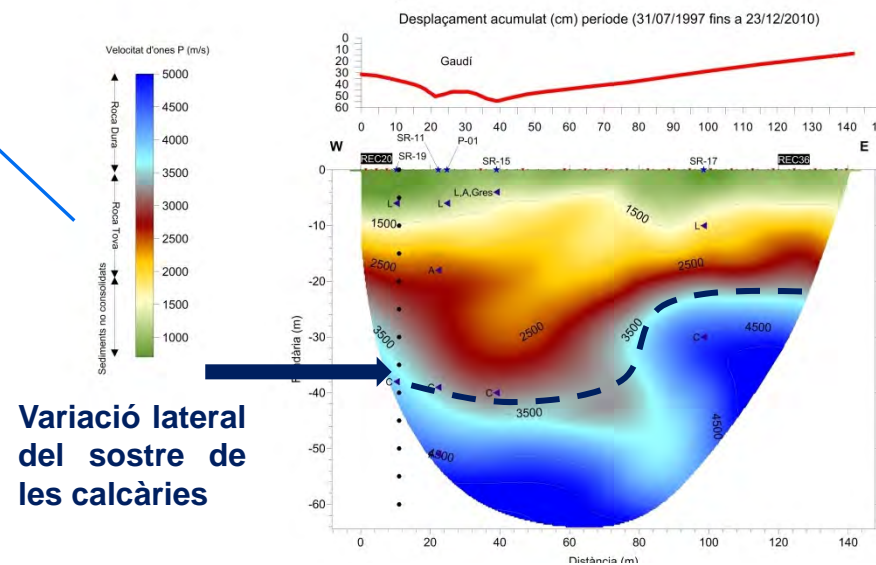
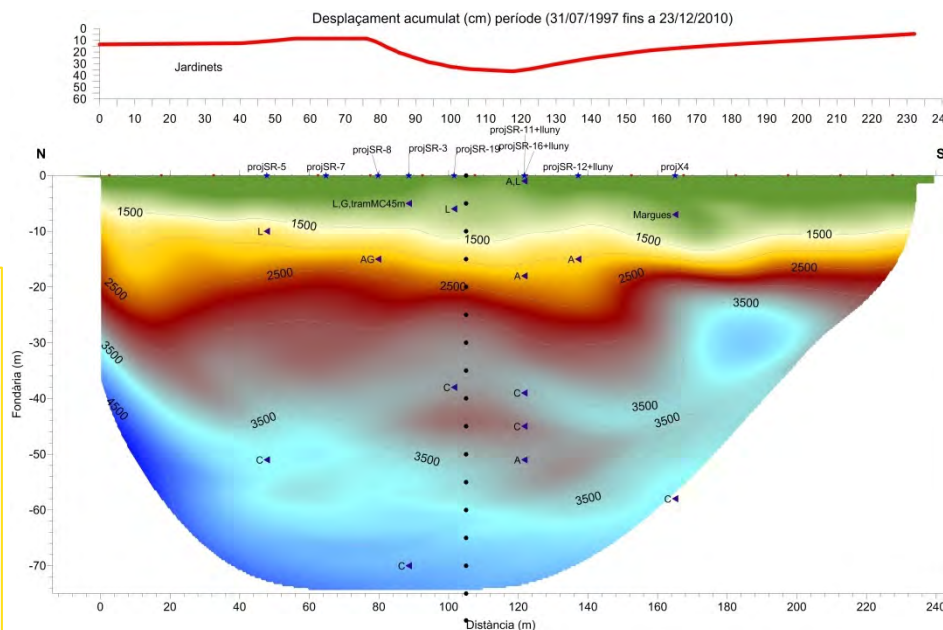
**Objectiu:** Identificació de variacions laterals en la litologia i paràmetres elàstics. Relació amb el desplaçament acumulat mesurat a la superfície.

**Metodologia:** Tomografia sísmica i Diagrafies.

**Resultats:** Diagrafies: augment de velocitat corresponent a les calcàries. Tomografia sísmica: identificació de sediments no consolidats, roca tova i dura (calcàries)



## Desplaçament (cm) acumulat de 1997 a 2010



**Augment de la velocitat**

**Variació lateral del sostre de les calcàries**



Estació Fondo

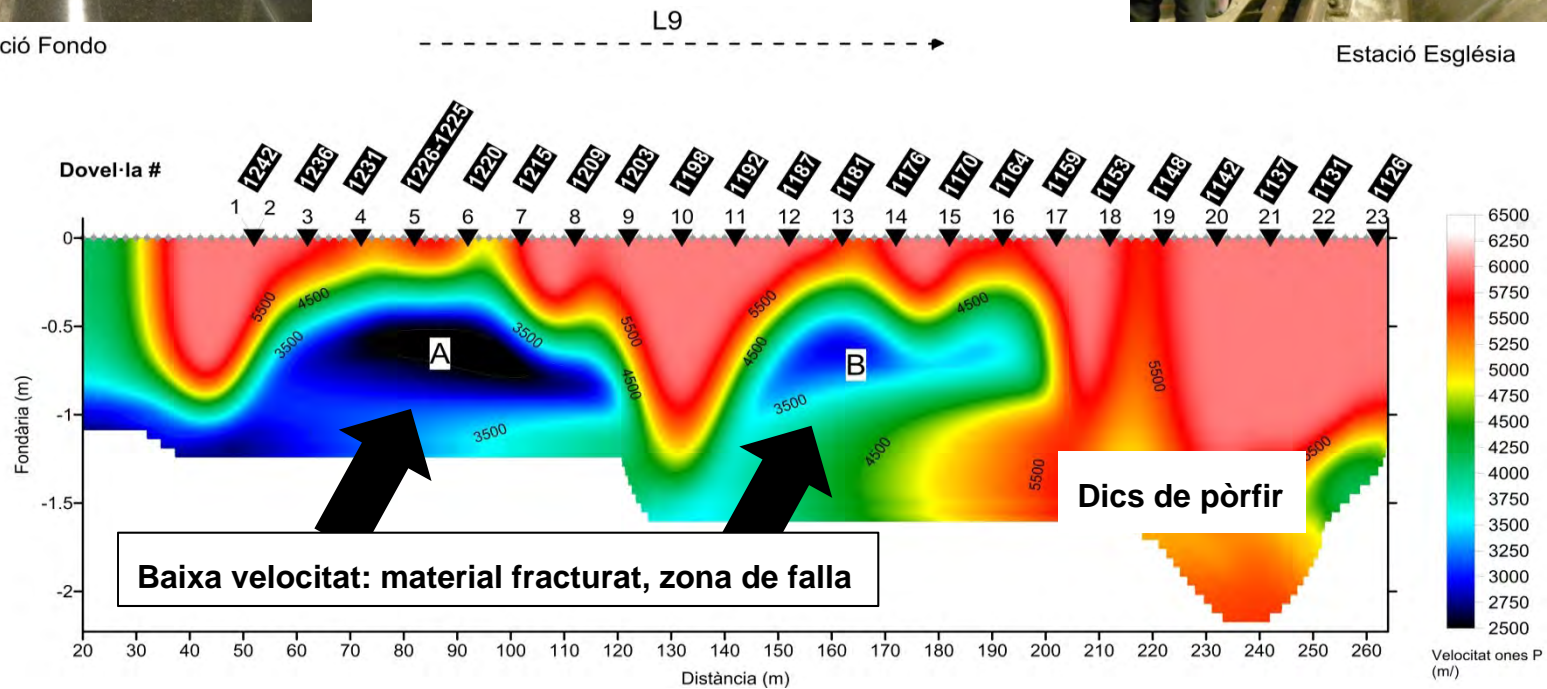
**Objectiu:** Localitzar zones de fractura o de falla en el granit relacionades amb la presència d'hidrotermalisme.

**Metodologia:** Tomografia sísmica: Perfil amb landstreamer a la via del metro.

**Resultats:** Identificació de dues anomalies de baixa velocitat en els materials granítics que es poden relacionar amb material fracturat o presència de falla. A la part final del perfil s'observen dics més amples de pòfir.



Estació Església





# Índex

La geofísica aplicada  
Base de dades geofísiques de Catalunya  
Estudis geofísics en entorns urbans  
    Introducció  
    Exemples d'aplicació  
**Consideracions finals**



## Consideracions finals

### **Aplicabilitat:**

- Els estudis de prospecció geofísica tenen aplicació en investigacions del subsòl de diferent escala, diferents problemàtiques i diferents objectius. L'èxit depèn de la selecció de les tècniques més adients per cada cas.

- La geofísica aplicada pot intervenir en diferents fases d'un projecte:

Fase inicial: per determinar zones idònies per altres tipus de prospeccions

Fase d'execució: per contrastar i correlacionar altres estudis

Fase final: per realitzar un monitoreig del fenomen en estudi.

### **Enfoc interdisciplinar als estudis del subsòl:**

- La geofísica aplicada és una eina molt útil i necessària per millorar les investigacions geològiques del subsòl però sempre intervé com a complement a altres estudis de superfície, mai els substitueix.

- Combinació de diferents tècniques geofísiques per maximitzar beneficis i minimitzar limitacions.

- Integració de la geofísica amb la geologia, geotècnia, hidrogeologia i altres disciplines.

- Incloure els estudis geofísics en les guies de bones pràctiques per als estudis del subsòl en diferents àmbits.

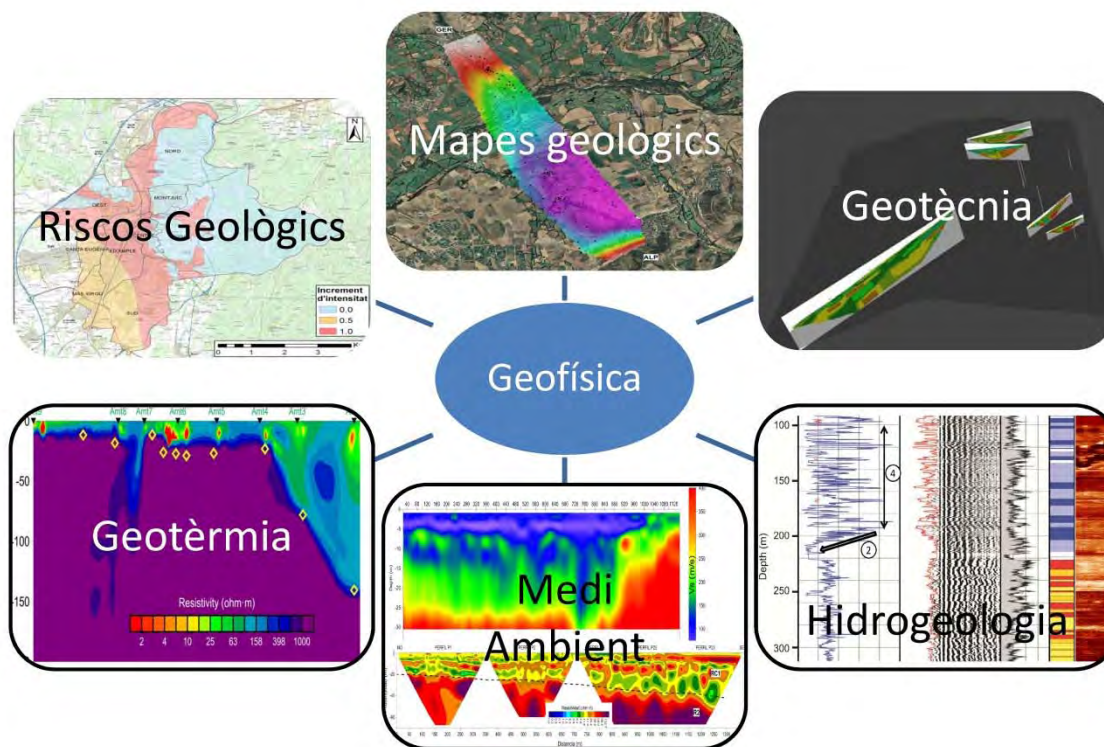
### **Geofísica en zones urbanes:**

- Adaptació de tècniques tradicionals

- Desenvolupaments en noves tècniques: sísmica passiva, interferometria de soroll., etc.



# Gràcies per la vostra atenció



**Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya**

Parc de Montjuïc,  
E-08038 Barcelona

41°22'12" N, 2°09'20" E (ETRS89)

[www.icgc.cat](http://www.icgc.cat)

[icgc@icgc.cat](mailto:icgc@icgc.cat)

[twitter.com/ICGCat](https://twitter.com/ICGCat)

[facebook.com/ICGCat](https://facebook.com/ICGCat)

Tel. (+34) 93 567 15 00

Fax (+34) 93 567 15 67



<http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Eines/Visualitzadors-Geoindex>

Estat dels treballs dels programes Geotreballs de cartografia geològica i geotemàtica

Visualitzador del projecte europeu iCoast, d'implementació de prediccions morfodinàmiques operacionals

Mapa per a la prevenció dels riscos geològics i estudis de perillositat de zones avaluades amb dictàmens preliminars de riscos geològics

**Geoíndex - Sismologia**  
Localització d'epicentres instrumentals (1977-2013) i macrosísmics (880ac-2013)

**Geoíndex - Sondejos**  
Descàrrega de sondejos provinents de projectes d'obra pública

**ICGC Geoíndex - Visualitzador de tècniques geofísiques**

- Capes
- Anomalia gravimètrica de Bouguer regional (1:250000)
- Anomalia gravimètrica de Bouguer residual (1:250000)
- Magnetometria
- MagnetoTelúrica (MT)
- Sondeig elèctric vertical (SEV)
- Sismica reflexió (SRX)
- Sismica refracció (SRA)

Generalitat de Catalunya

**ICGC**  
Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Avís legal: © L'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya permet la reutilització de la informació que no es desnaturalitzi la informació i que no es contradiu amb una llicència es

ICGC  
Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

InstaMaps

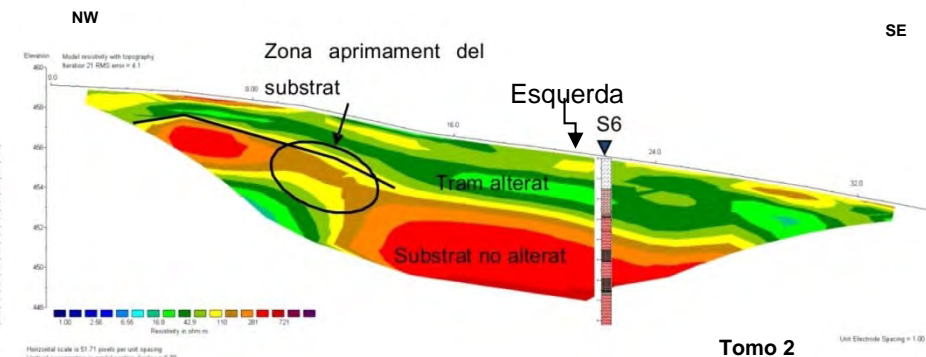
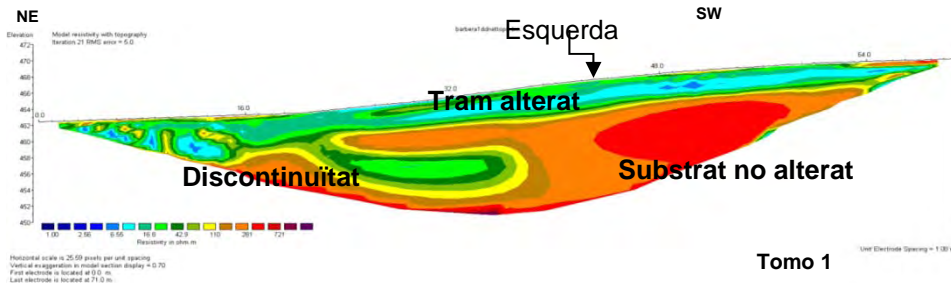
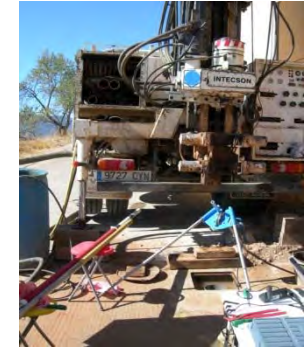
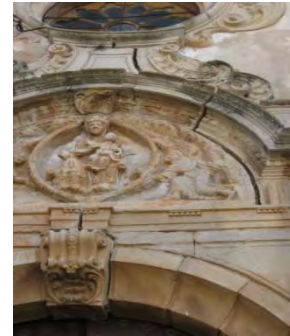
Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya - CC-BY - Font: OpenStreetMap ZL-9

# Barberà de la Conca – Esquerdes en edificis i carrers

**Objectiu:** Caracterització detallada les formacions del subsòl per ajudar a establir la naturalesa del fenomen i la profunditat a la qual es produeix.

**Metodologia:** Mètodes aplicats des de la superfície (tomografia elèctrica i sísmica) i testificació de sondeigs (diagrafia).

**Resultats:** Delimitació del tram alterat format per dipòsits d'argiles/llims/sorres/graves i el tram de substrat no alterat format per gresos, conglomerats, argil·lita i limolita. Es detecten discontinuïtats laterals i zones d'aprimament en el substrat no alterat. Es correlacionen els models obtinguts amb la testificació geològica i geofísica dels sondeigs.

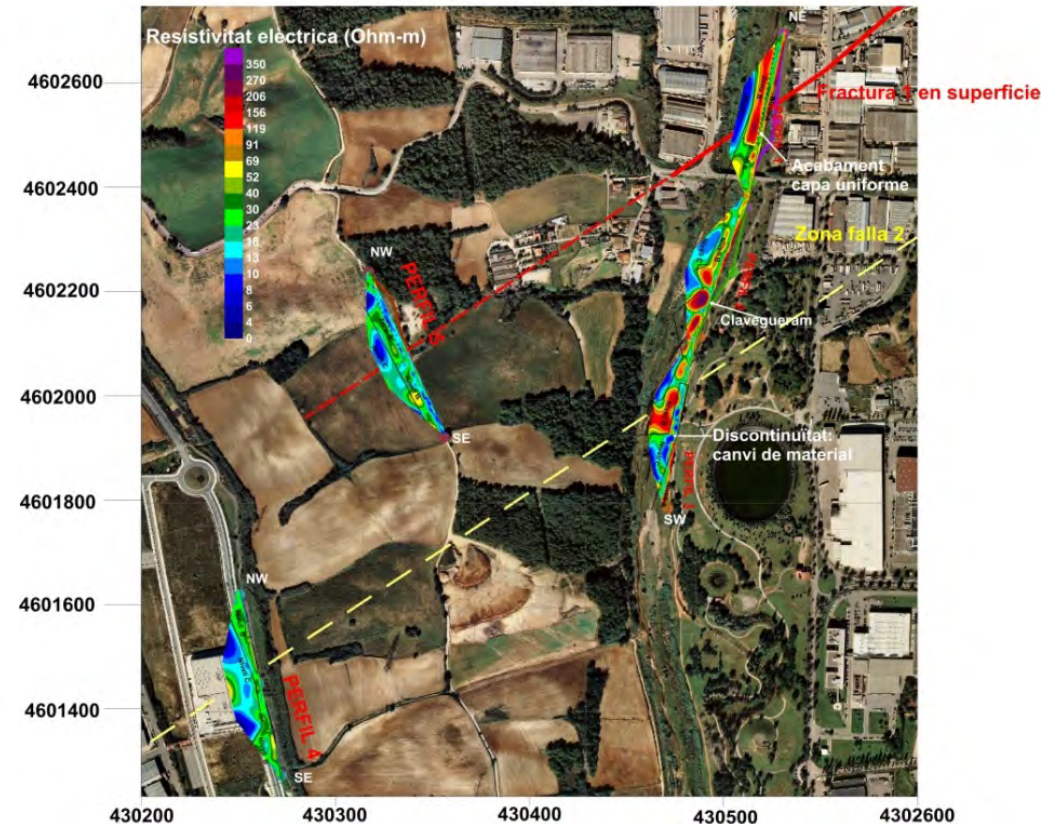
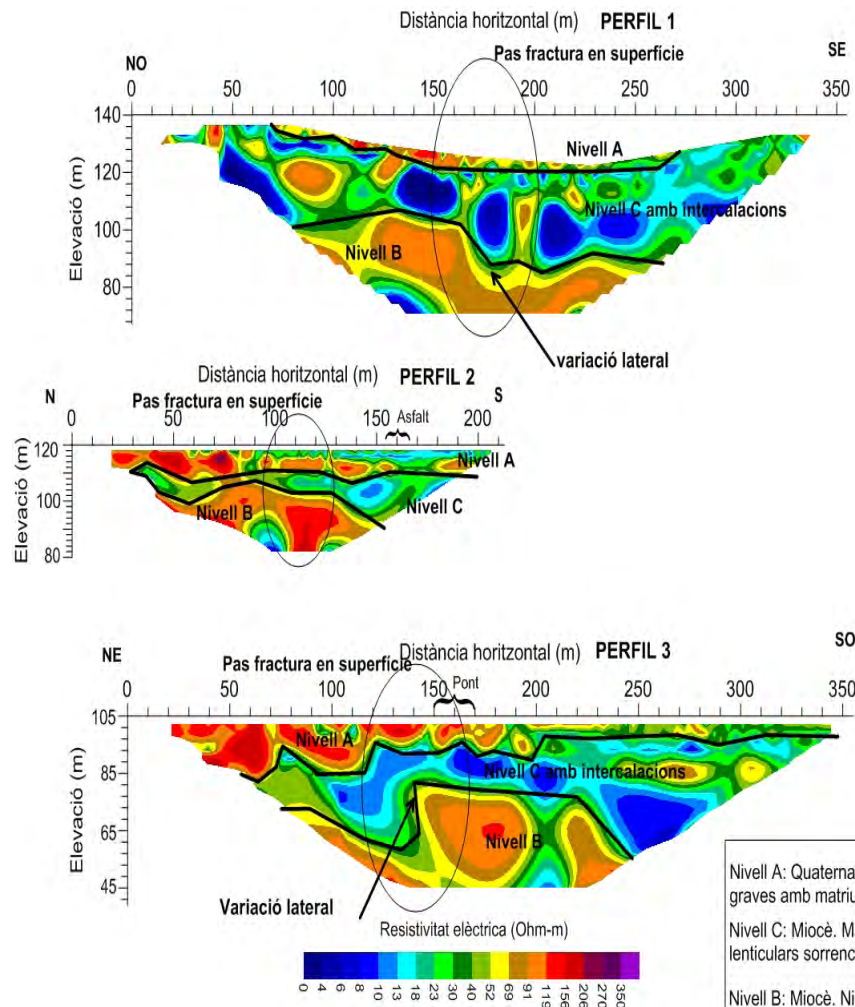


# Palau - Solità – Patologies en edificis

**Objectiu:** Detectar la potència de sediment (contacte quaternari-Neogen) i relacionar l'estructura geològica (disposició de les capes del terreny) amb la localització de les falles i fractures caracteritzades geològicament, fins a la fondària de 50-60 metres.

**Metodologia:** Perfils de tomografia elèctrica perpendiculars al traç de la fractura caracteritzada en superfície.

**Resultats:** Es detecten en general tres nivells amb comportament elèctric diferent. Nivell A, B i C. Les discontinuïtats detectades relacionades amb les fractures del terreny.



Nivell A: Quaternari. Reblert antròpic o llit ordinari de la riera, consta de graves amb matriu sorrenca-llimosa.

Nivell C: Miocè. Material argilós predominantment groc amb nivells lenticulars sorrenca i conglomeràtics.

Nivell B: Miocè. Nivell de graves, còdols o conglomerats.

