



# Moviments de Subsidiència a Sallent

Unitat de Prevenció de Riscos Geològics - ICGC

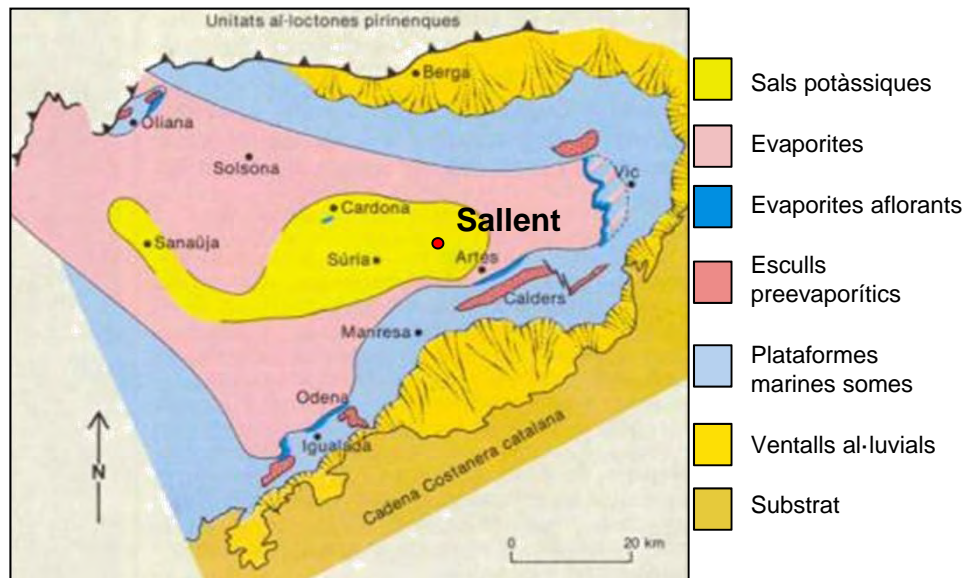
Monitorització del terreny com a eina de gestió del risc i presentació del projecte Europeu Wi-GIM

27/01/2017 Barcelona



# Introducció

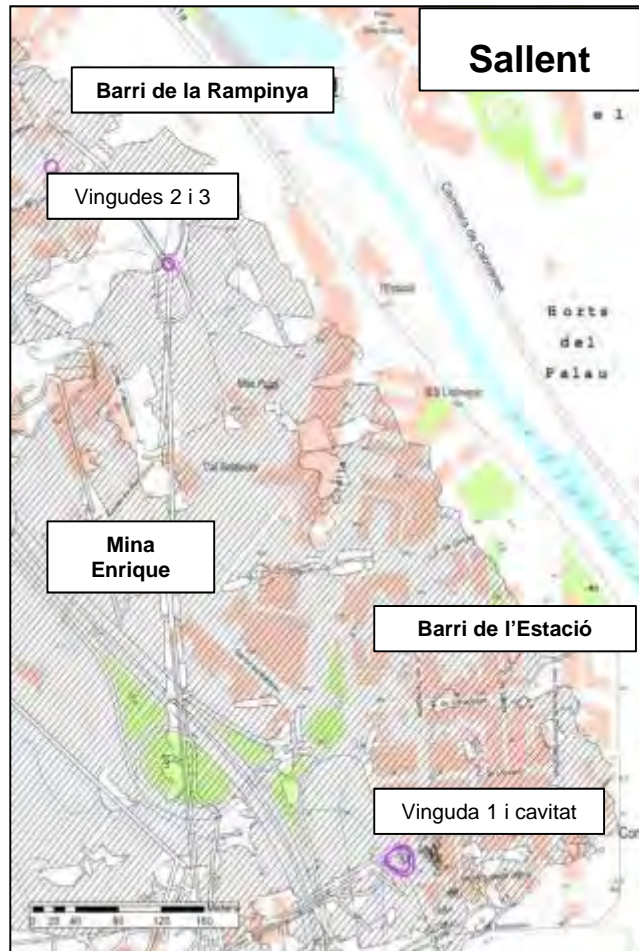
La població de **Sallent** es troba localitzada a la comarca del Bages, sobre la denominada conca evaporítica de Catalunya, que forma part de la depressió de l'Ebre. Des d'un punt de vista geològic, aquesta és una **conca sedimentària evaporítica**, que conté una gran unitat salina composta per la intercalació de salts potàssiques.







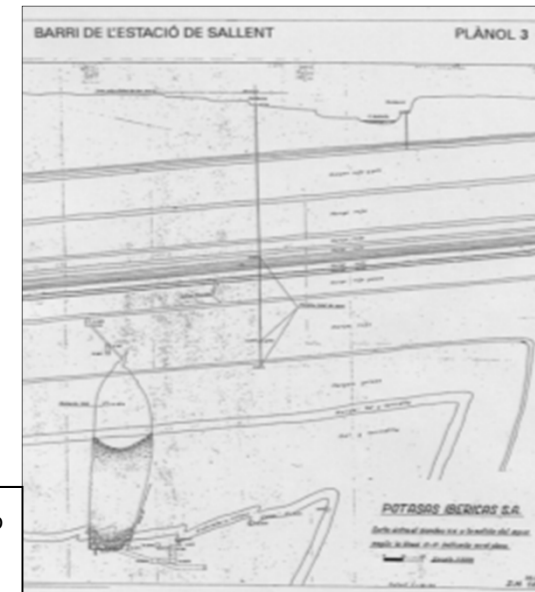
Com a conseqüència de les activitats mineres en galeria, els materials salins del subsòl presenten un significatiu **sistema de cavernes** (buits), causats bé com a **conseqüència directa de l'exploració** de les unitats salines, o com a resultat de **processos de dissolució i erosió** causats per fluxos d'aigua subterrània i agreujat per l'elevada solubilitat i erosionabilitat de les sals.



A la població de Sallent, els límits d'exploració d'una de les mines, anomenada **mina Enrique**, s'ubiquen en el subsòl dels barris de l'Estació i la Rampinya. Aquesta mina va se activa des de 1932 a 1974 i va ser abandonada per **problemes d'inundació** havent patit tres vingudes importants al 1954, al 1957 i al 1962 a les galeries de la zona de l'Estació i la Rampinya.

Com a conseqüència de la primera vinguda de 1954 es va detectar una **gran cavitat** de 120 x 40 m a una profunditat d'uns 150 m per sota del barri de l'Estació.

Cavitat detectada sota el barri de l'Estació  
(Potasas Ibéricas S. A. 1954)





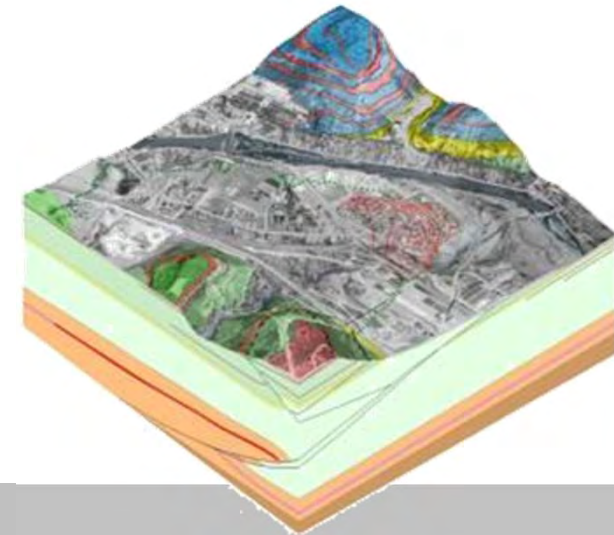
A la dècada de 1990 es van detectar un seguit de **danys estructurals** en alguns edificis del barri de l'Estació. Per aquest motiu el govern de Catalunya, a través de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ara ICGC) va iniciar un seguit d'estudis per a determinar les causes d' aquests danys i proposar possibles solucions.



## Subsidència a sallent

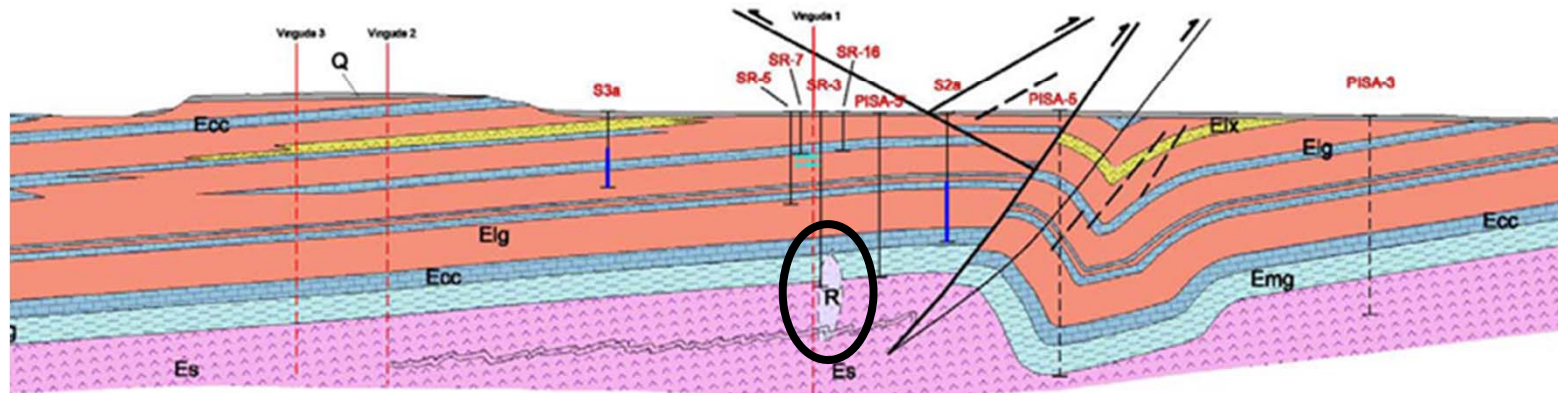
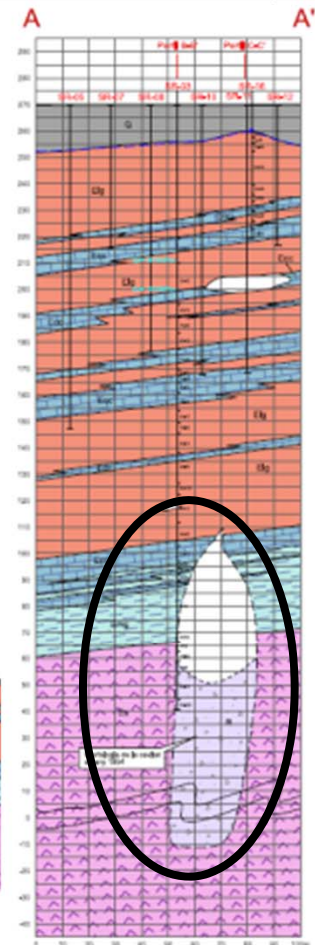


Per a la determinació i anàlisi dels moviments del terreny causants dels danys a les edificacions detectats als 90, es va implementar un pla extensiu **d'anàlisi i vigilància del terreny**, incloent la caracterització geològica, hidrogeològica i geotècnica de la zona, la delimitació de les zones de mineria (explotada i per explotar), mesures periòdiques de topografia i modelització de la projecció dels moviments.



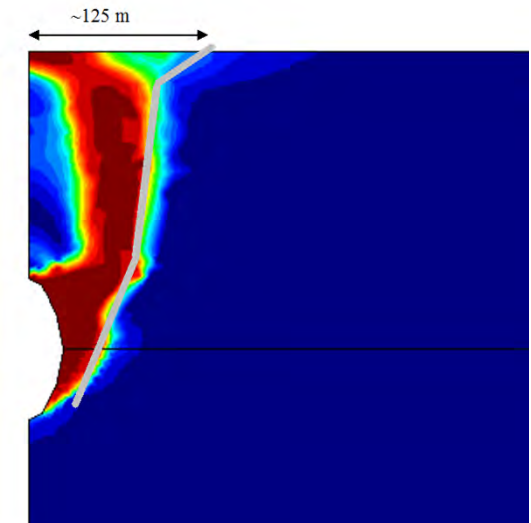
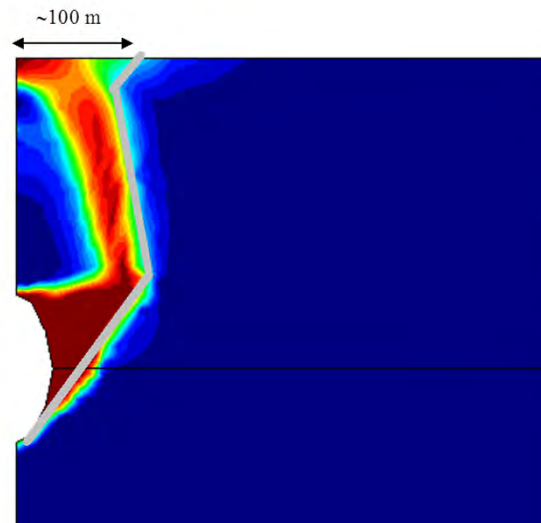
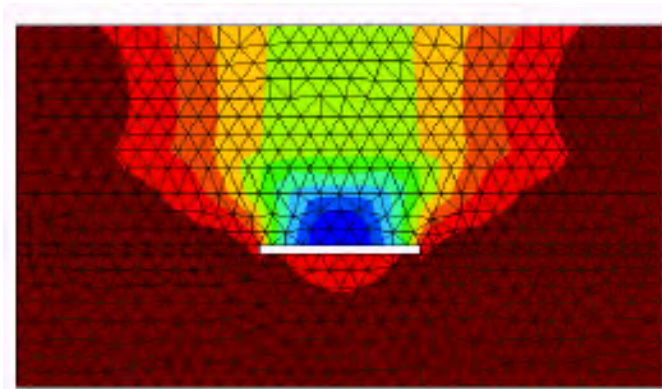
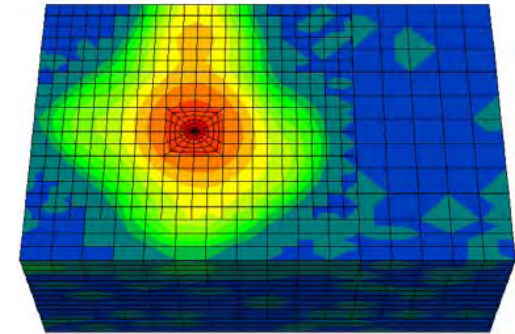


Aquesta caracterització va permetre identificar que la causa de les deformacions superficials al barri de l'Estació es la presència de la gran **cavitat** detectada al 1954, que combinada amb la naturalesa sedimentària i evaporítica de les litologies locals afavoreix un procés de **subsidiència** a superfície.





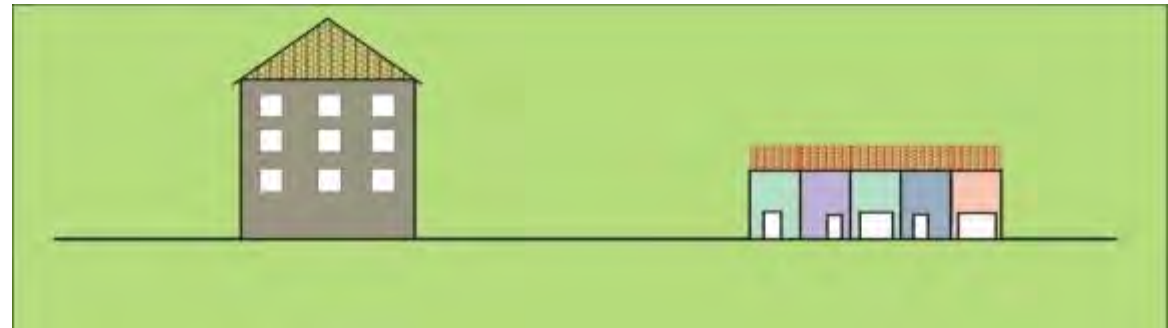
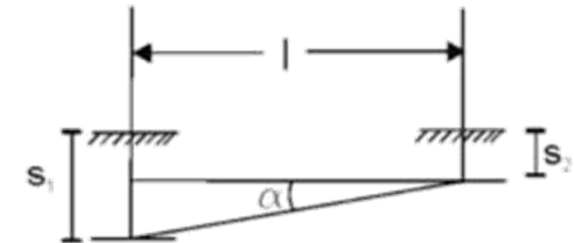
La possible evolució d'aquest procés va esser analitzada i modelitzada amb l'objectiu de predir la seva **evolució temporal** i poder determinar tant la **perillositat del procés** com les mesures més adients a considerar per a **minimitzar l'afectació** sobre persones i estructures. La modelització va justificar l'existència de la cavitat, explicant la distribució de la subsidència i va permetre definir una baixa probabilitat de col·lapse a curt/mig termini.





La distorsió angular ( $\delta$ ) és la relació angular entre la distància de dos punts i la subsidència diferencial entre ells, i per tant **no te perquè coincidir amb els punts de màxima subsidència.**

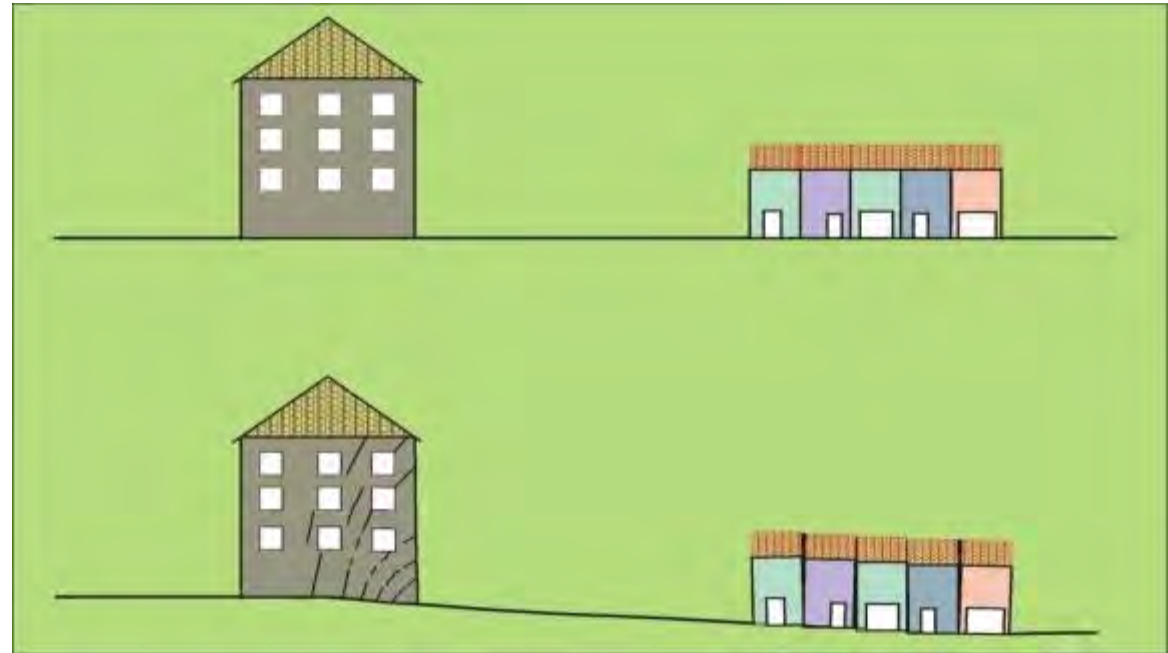
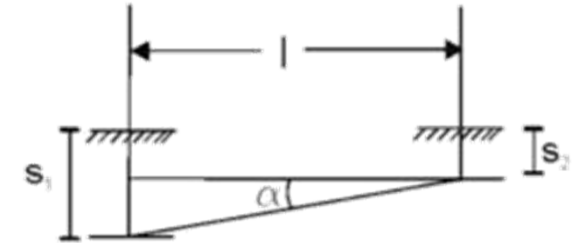
$$\delta = \tan \alpha = \frac{\Delta s}{l}$$



Aquesta distorsió induïx **assentaments diferencials** que poden comprometre la integritat de les estructures rígides, especialment les elongades com blocs de pisos.



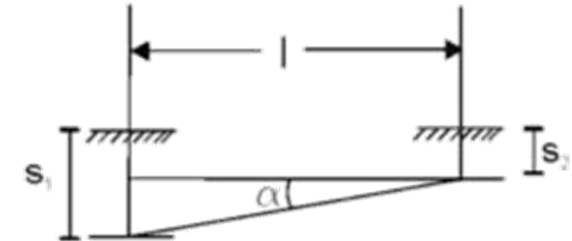
$$\delta = \tan \alpha = \frac{\Delta s}{l}$$



Segons el grau de distorsió angular es poden classificar els **danys esperables** a les estructures.



$$\delta = \tan \alpha = \frac{\Delta s}{l}$$

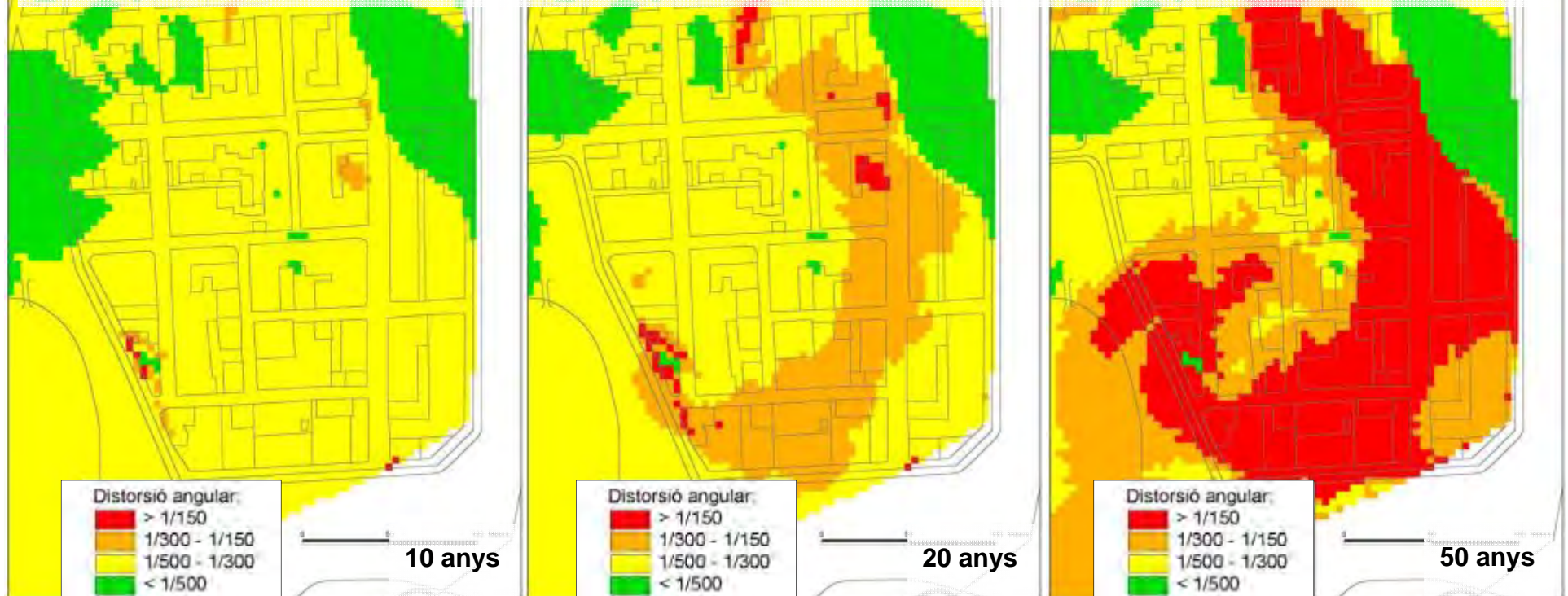


Límits distorsió angular ( $\delta$ )	Danys esperables
1/500	Aparició d'esquerdes (lleus)
1/300	Esquerdes a envans i murs (moderats)
1/150	Danys estructurals a edificis (greus)

basat en Skempton i Mac Donald (1965)



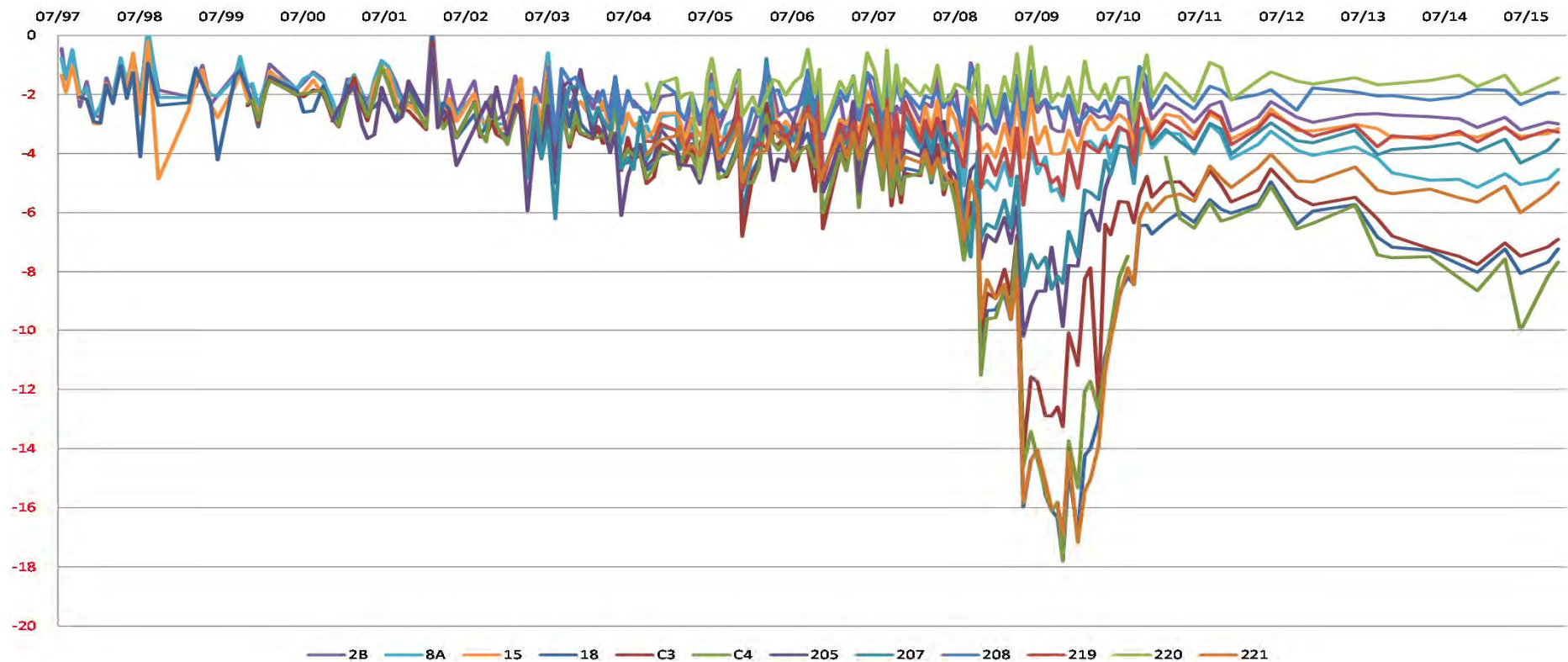
Per a analitzar els danys potencials, en base a els límits de distorsió angular i la subsidència mesurada en superfície es van implementar una **zonificació** de distorsions angulars esperables en un interval de 10, 20 i 50 anys.



- Es van considerar i discutir diverses solucions tècniques
- Degut a les característiques del terreny, la magnitud del fenomen i la localització urbana, cap d'elles es va considerar tècnica o econòmicament realitzable.
- Es va establir un programa a llarg termini de **recol·locació** dels habitants
- Establiment d'un pla **d'actuació i evacuació d'emergència lligat a un sistema de monitorització del fenomen.**
- El sistema de seguiment va entrar en funcionament al 2005, i va constar d'una xarxa d'extensòmetres i un sistema d'auscultació topogràfica automàtica.

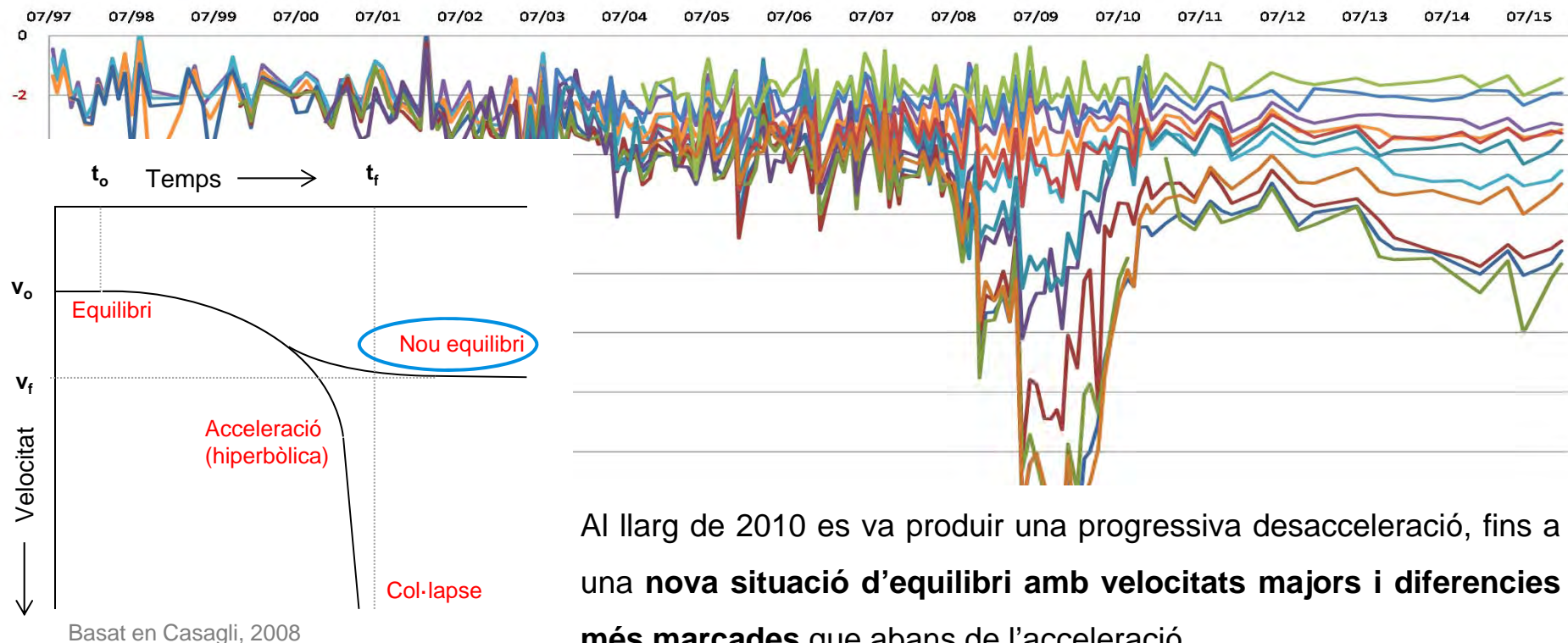


A finals de l'any 2008 principis de 2009 es va produir una **acceleració de la subsidència** que va passar de 5 cm/any a més de 16 cm/any en alguns punts, el que va produir l'activació del protocol d'evacuació.





A finals de l'any 2008 principis de 2009 es va produir una **acceleració de la subsidència** que va passar de 5 cm/any a més de 16 cm/any en alguns punts, el que va produir l'activació del protocol d'evacuació.

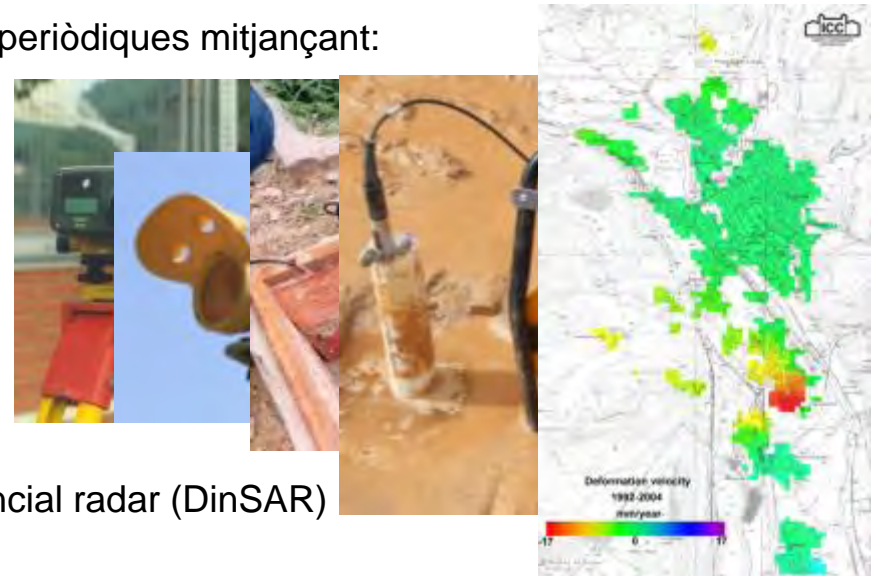


Com a conseqüència de l'activació del protocol, prop de 120 residents de 43 habitatges van ser permanentment evacuats al llarg de 2009 i es va iniciar el pla d'evacuació, real·lotjament, **tancament al públic i enderrocament** d'edificis de la secció del barri més afectada. Progressivament s'ha estès aquesta actuació a la resta del barri, fins a un total de 405 propietats, superant els **60 milions d'€ de cost**.



Tot i l'enderroc i evacuació de part del barri de l'Estació, la instrumentació instal·lada s'ha mantingut en funcionament, de manera que actualment es prenen dades periòdiques mitjançant:

- 124 punts d'anivellació topogràfica
- 26 punts de control amb estació topogràfica robòtica
- 16 extensòmetres automàtics
- 4 inclinòmetres
- Processat d'imatge satel·lital d'interferometria diferencial radar (DinSAR)



La disponibilitat d'una sèrie de dades de prop de 20 anys del procés de subsidència, fan de Sallent una zona ideal per aplicar noves tecnologies i tècniques d'auscultació i seguiment, orientades a detectar i millorar la resposta davant de riscos derivats de la subsidència.

## El projecte Wi-GIM

El projecte Wi-GIM s'orienta al desenvolupament d'una eina de mesura dels desplaçaments del terreny de baix cost, resilient i de fàcil configuració. La selecció del barri de l'Estació de Sallent com a zona d'estudi s'ha basat en les següents consideracions:

- Existeix una llarga sèrie de dades de control de desplaçaments
- Està sotmesa a un fenomen de subsidència actiu
- El fenomen comporta un risc alt
- El fenomen té continuïtat temporal i necessita seguiments llargs (preferiblement de baix cost)
- L'àrea d'estudi és de fàcil accés i està ben comunicada
- La superfície de l'àrea d'estudi està dins dels rangs de detecció dels sensors (< 140m entre nodes)
- A la zona hi ha suficient cobertura GSM per a la transmissió de dades



El sistema Wi-GIM és un sistema experimental de mesura de distàncies mitjançant tecnologia wireless de banda ultra ample (UWB) combinada amb mesures radar d'ona continua (CWR). Aquests sensors (*nodes*) es distribueixen a la zona d'estudi creant una xarxa de mesura dels desplaçaments (*cluster*).



Cada clúster inclou un node de comandament (*master*) i varis nodes perifèrics (*slave*). El master coordina els nodes del cluster, es pot equipar amb connexions externes (radar, mòdem, GPS,...) i emmagatzema i trameta les dades. Els slave mesuren, emmagatzemen i trameten al master la seva distància als altres sensors i fan de repetidors dels nodes sense visual al master.

El sistema es va instal·lar a finals d'Abril de 2016 en **dos clusters, SAL1 i SAL2:**

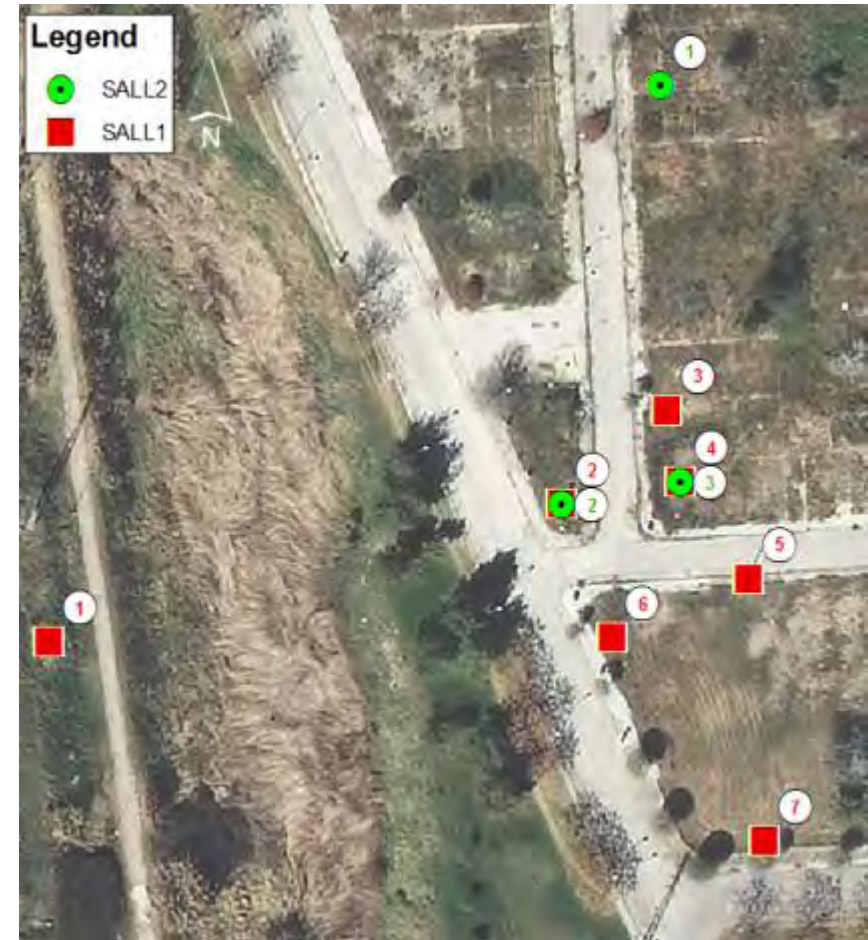
Cluster SAL1 :

- 1 master ubicat fora de la zona de subsidència
- 6 slaves ubicats dins de la zona de subsidència

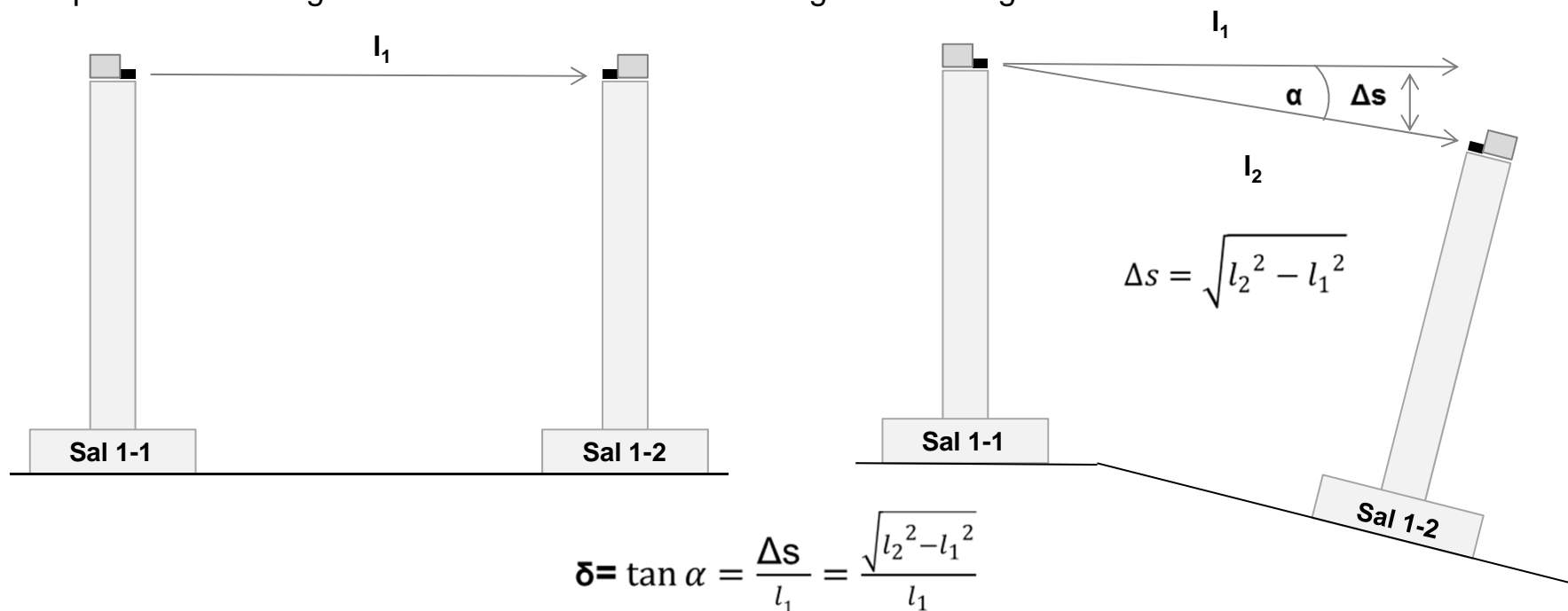
Cluster SAL2:

- 1 master ubicat en una zona de subsidència lenta
- 2 slave coincidents amb slaves de SAL1 per tal de caracteritzar subsidències diferencials entre ambdós clusters

A Sallent, el sistema Wi-GIM està programat per a enregistrar dades cada 8 hores (3 cops al dia).



Tot i les avantatges del sistema Wi-GIM, les **mesures** del sistema son en la seva línia de visió i per tant **eminentment horitzontals** i el **desplaçament de subsidència és vertical**. Per aquest motiu, i degut a l'enderrocament dels habitatges, per a obtenir visibilitat entre els sensors del sistema, s'ha construït un conjunt de pilones de formigó. i s'ha reformulat la distorsió angular com segueix:



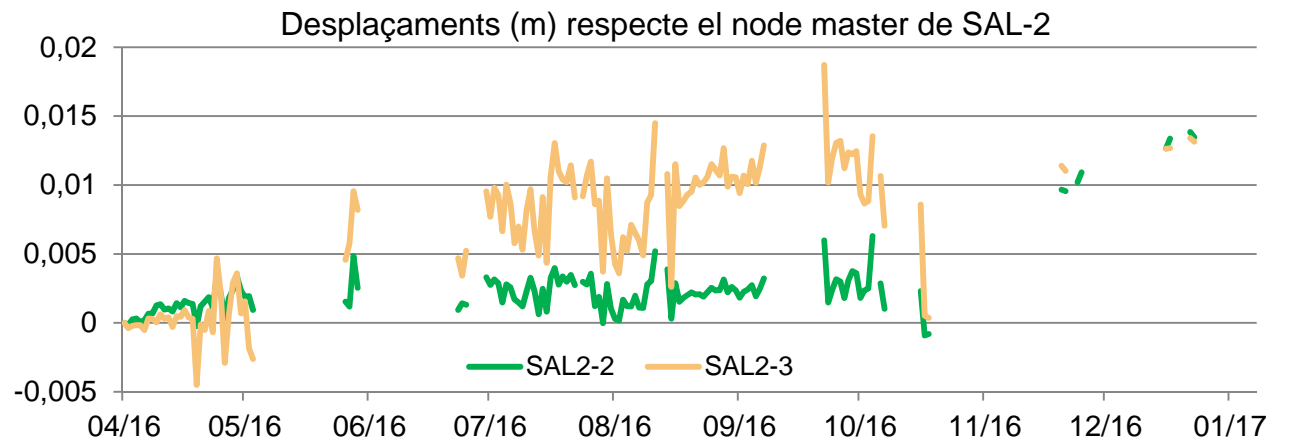
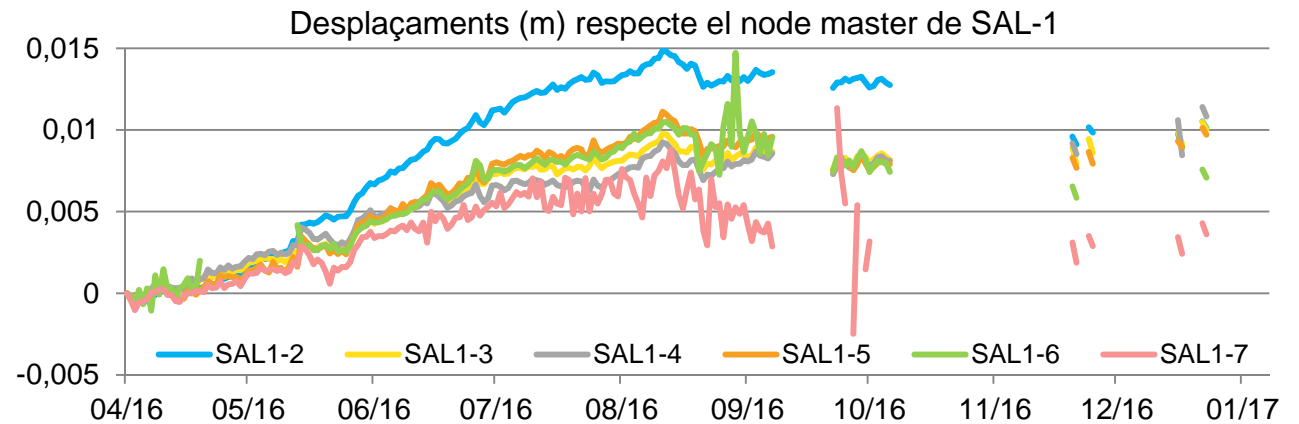
Les dades adquirides per el sistema Wi-GIM a Sallent es **validen** mitjançant la seva comparació amb dades d'una **estació topogràfica robòtica** que comparteix ubicació amb el master de SAL1, amb punts de control a tots els nodes d'ambdós clusters, i amb les dades del **radar d'ona continua** entre el master de SAL2 i un reflector instal·lat en un dels seus slaves.





Per a la seva comparació amb les lectures de Wi-GIM, les dades de l'estació topogràfica son transformades de posició absoluta (X,Y,Z) a distància lineal relativa entre tots els nodes de cada clúster.

Aquesta transformació permet aplicar la fórmula de la distorsió angular modificada, per a interpretar les dades segons els límits definits per a cada tipologia de danys.



En funció de les distàncies entre nodes, s'ha determinat que els límits teòrics dels valors de distorsió angular per a generar danys, es situen:

Límits distorsió angular ( $\delta$ )	Danys esperables	Valors respecte master SAL1	Valors respecte master SAL2
1/500	Lleus	15-20 cm	10-12 cm
1/300	Moderats	25-35 cm	17-19 cm
1/150	Greus	50 -70 cm	35-38 cm

Aquests valors, que no s' han assolit, entren dins del límit de detecció del sistema Wi-GIM.

## Conclusions

- El fenomen de subsidència és un procés relativament lent que en general costa d'identificar fins a l'aparició dels primers danys (esquerdes).
- El seguiment d'aquest fenomen es d'alt cost econòmic ja que implica la instal·lació de sensors o mesures periòdiques perllongades en el temps.
- Els danys potencials sobre estructures i edificacions per causa de la subsidència es poden valorar mitjançant la distorsió angular.
- La subsidència és un fenomen sobre el que és complicat actuar per el cost i la viabilitat de les solucions tècniques, per el que en general, quan es presenta en zones habitades, s'escau implementar sistemes d'alerta i protocols d'evacuació.
- Les dades recopilades al llarg d'una sèrie temporal extensa, fan de Sallent una zona extraordinària per a l' estudi de la subsidència i la implementació noves tècniques mesura d' aquest fenomen.
- Com a conseqüència de les característiques dels processos de subsidència, sistemes de seguiment de baix cost que es puguin mantenir llargs intervals de temps en funcionament com el Wi-GIM, son molt interessants per a l'estudi i seguiment d'aquests fenomens.



**Moltes gràcies per la seva 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



Moviments de subsidència a Sallent