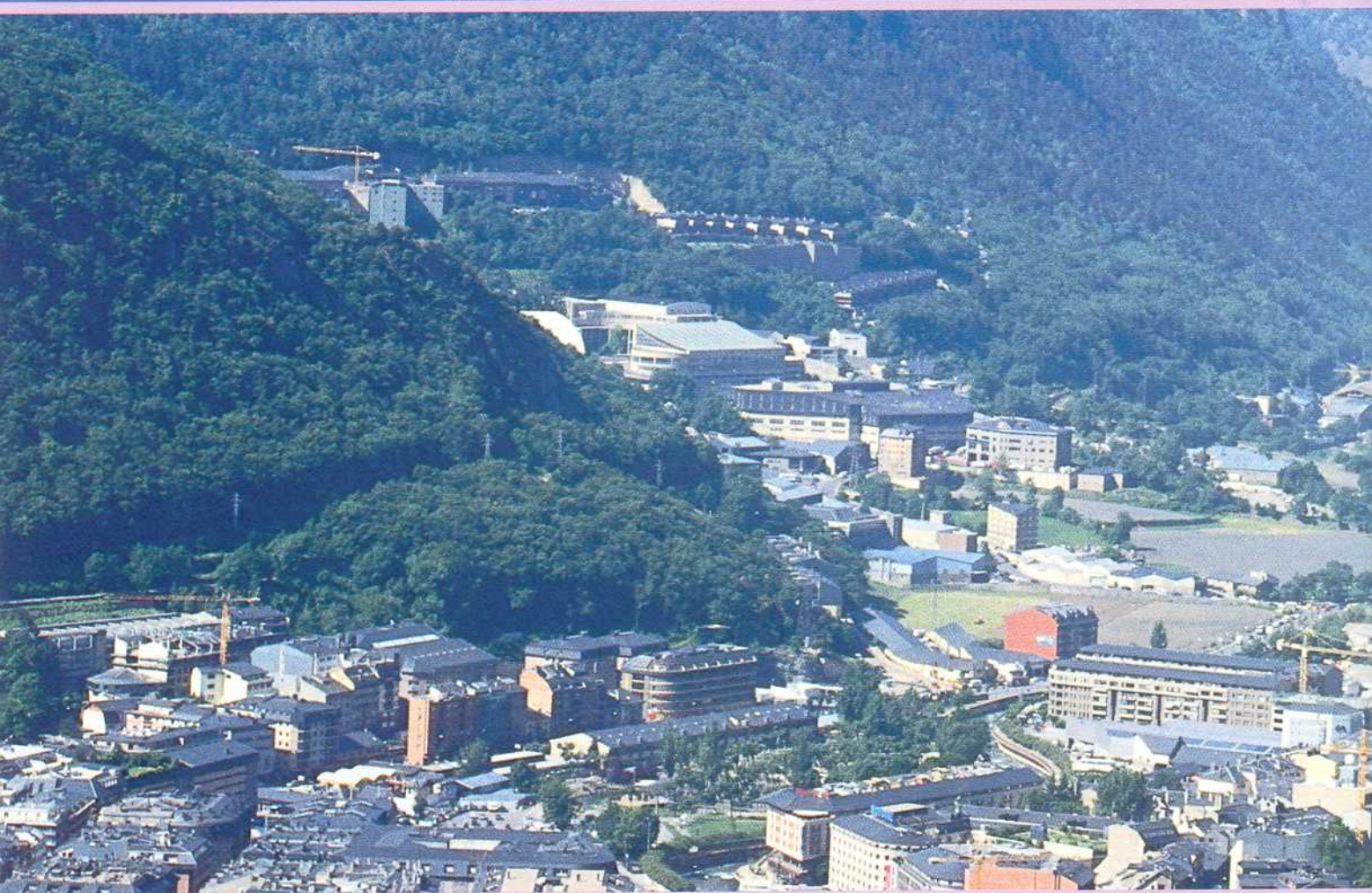


Estudis de risc sísmic

Utilització de mètodes experimentals i de simulació numèrica per



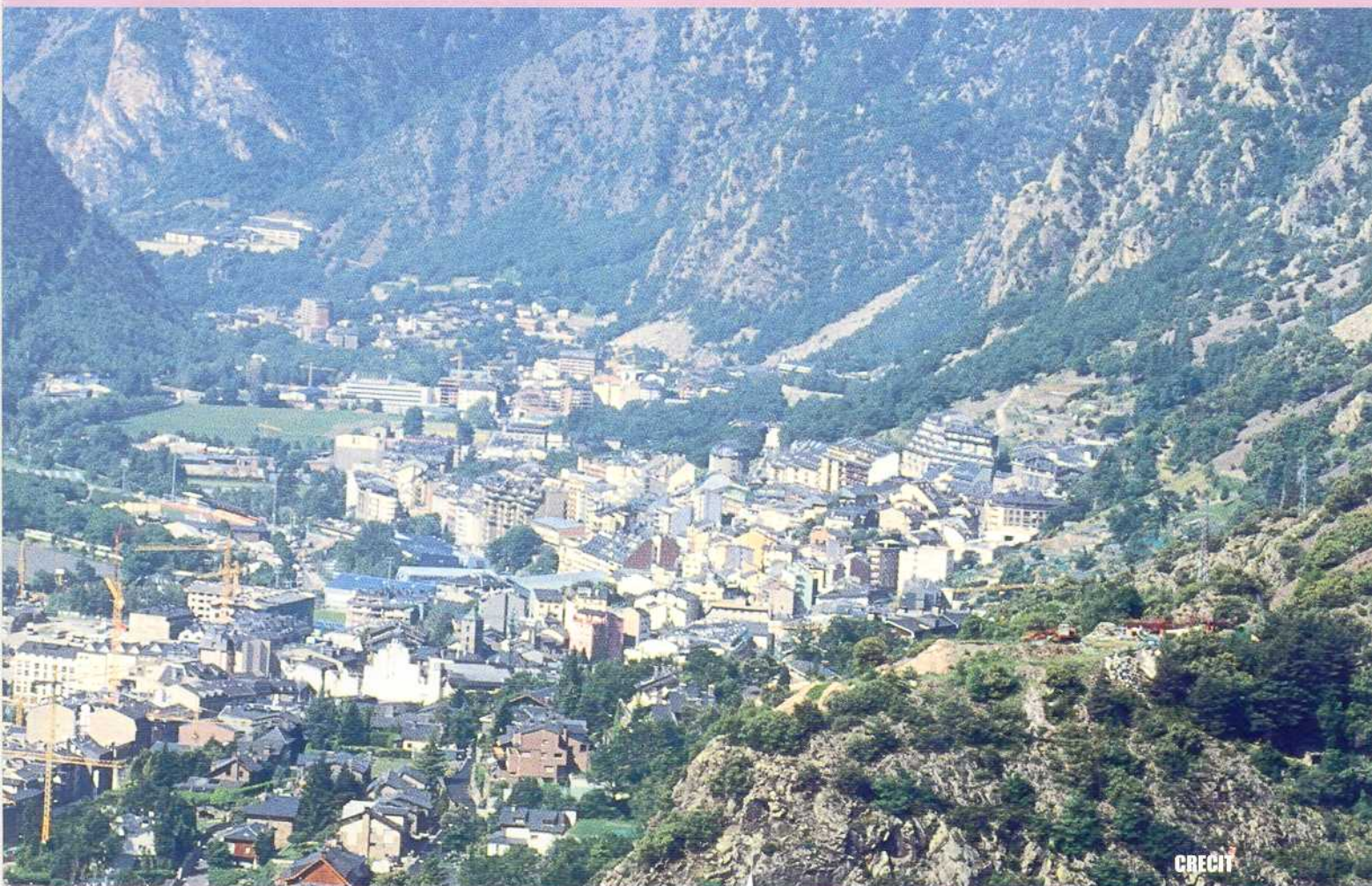
Sara Figueras, Hugo Coral i Xavier Goula

Andorra és un país d'alta muntanya caracteritzat per una geologia de valls glacials quaternàries amb una geotècnia i topografia molt particulars. Està exposada a nombrosos riscos naturals: allaus, esllavissades, inundacions, terratrèmols, etc. que intervenen tant en la vida de les persones com sobre les infraestructures de les poblacions. En el marc de l'estudi del risc sísmic dels Pirineus, s'ha establert un conveni de col·laboració entre l'Institut d'Estudis Andorrans (CRECIT) i l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) per estudiar el risc sísmic al Principat

d'Andorra. En una primera etapa s'ha seleccionat la zona d'Andorra la Vella, Escaldes-Engordany, Santa Coloma i la Margineda. L'objectiu és arribar a caracteritzar la resposta sísmica del sòl en emplaçaments amb característiques del subsòl diferents i realitzar una microzonificació sísmica. Degut a la particular topografia de la zona, s'ha considerat l'estudi del possible efecte d'amplificació del moviment degut a la topografia, la caracterització d'aquest efecte pot ser important també per la seva relació amb les esllavissades i caiguda de pedres.

mic a Andorra

r la microzonificació sísmica d'àrees urbanitzades



Què és la microzonificació sísmica?

La microzonificació sísmica consisteix en la divisió d'una regió en zones geogràfiques que es preveu que experimentaran la mateixa gravetat relativa d'un perill sísmic. Els mapes de microzonificació poden utilitzar-se per a planificar la construcció i el desenvolupament urbà i també per orientar el disseny resistent als terratrèmols dels edificis nous i reforçar els edificis i instal·lacions existents d'acord amb les reglamentacions antisísmiques vigents.

La microzonificació sísmica considera les particularitats topogràfiques, geològiques i

geotècniques d'una zona determinada per:

- Estudiar els efectes locals: amplificació dinàmica i modificació del contingut freqüencial del moviment sísmic de referència.
- Estudiar els efectes induïts: fenòmens de líquefacció, esllavissades, desprendiments, etc
- Estudi de ruptures en superfície.
- Estudi d'altres efectes: Tsunami, etc.

Un objectiu prioritari en els estudis de microzonificació sísmica d'una regió és la recopilació de la màxima informació geotècnica del subsòl i sísmica, no només de la zona que s'estudia sinó de la que es troba al seu voltant.

Recopilació de la informació geotècnica i sísmica

Per tal de tenir un coneixement de les característiques geològiques de la zona d'estudi s'ha considerat el mapa geològic d'Andorra 1:50.000 (CRECIT, 2002). S'ha realitzat una recopilació de les dades procedents de diferents sondatges de la zona d'Andorra la Vella i a partir de les dades dels informes geotècnics s'ha elaborat la base de dades geotècnica d'Andorra (CRECIT, 2001). La morfologia de la cubeta s'ha obtingut a partir de dades de mètodes geofísics i de perfils sísmics, recentment s'ha realitzat una campanya de prospecció sísmica que permetrà conèixer millor aquesta morfologia. A partir del model digital d'elevació del terreny s'ha elaborat un mapa de pendents de la zona que servirà per l'estudi dels possibles efectes topogràfics a la zona de vessants. La zona d'estudi presenta una sismicitat moderada, històricament ha patit l'efecte de sismes importants en regions veïnes. L'any 1970 va tenir-hi lloc una crisi sísmica important. De la sismicitat instrumental dels darrers 16 anys s'han localitzat a Andorra uns 40 sismes de magnituds compreses entre 2 i 3.4 segons fonts de l'Institut Cartogràfic de Catalunya.

Estimació d'efectes locals a la zona d'estudi

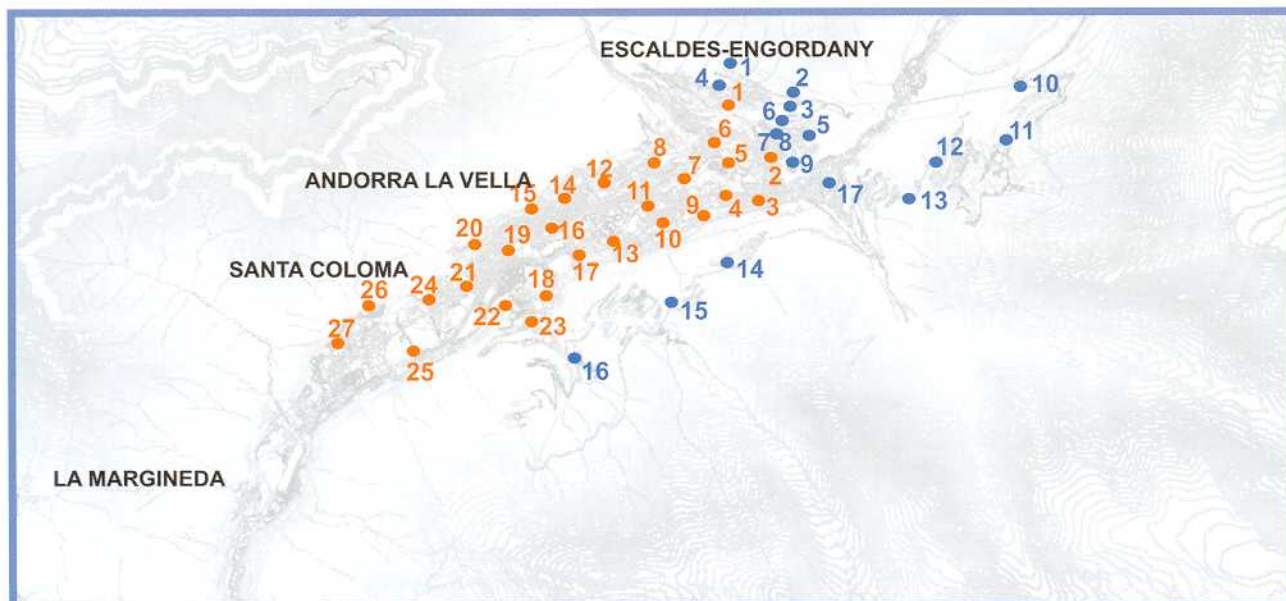
Es defineix l'efecte sísmic local com la variació del senyal sísmic entre dos punts propers, degut a la diferent configuració geològica caracteritzada per la seva geometria i propietats dinàmiques. Les condicions locals poden modificar el senyal tant en el seu contingut freqüencial com en la seva amplitud.

A la zona d'estudi s'ha tingut en compte tant l'efecte d'amplificació local degut a les característiques del subsòl com el degut a la topografia, l'estudi s'ha dut a terme a partir de mètodes teòrics aplicant un mètode de modelització 1D (Proshake, 2001) i experimentals (Nakamura, 1989) a partir del tractament de registres de soroll ambiental (microsismes) obtinguts a la zona d'estudi.

Aplicació del mètode experimental de Nakamura

Les fonts que poden alterar el registre sísmic i emascarar el senyal de possibles sismes és el que s'anomena soroll sísmic o microsisme. Quan s'estudia el senyal sísmic aquest soroll s'elimina, però per estudis de zonació sísmica aquest soroll ens ajuda a definir algunes característiques

Figura 1. Ubicació dels emplaçaments on s'han dut a terme mesures de microsismes. En color blau es presenten els punts de mesura a les vessants i en color vermell els punts de mesura a la cubeta.



del sòl, una d'elles és la freqüència predominant.

La campanya de mesura de microsismes es va realitzar entre els dies 25/06/2001 i 3/07/2001 a la zona d'Andorra la Vella, Escaldes-Engordany, Santa Coloma i la Margineda tant a la vall com a la zona de muntanya.

A la zona de muntanya s'han fet mesures en 17 emplaçaments amb un sismògraf PDAS amb sensor triaxial Lennartz, a la zona de la cubeta s'han fet mesures en 27 emplaçaments amb un acceleròmetre Kinemètric K2. Els registres tenen una durada de 3 minuts amb un mostreig de 100 mostres per segon. A la figura 1 s'observa la ubicació dels llocs on s'han fet les mesures experimentals. Com a resultat de l'aplicació del mètode de Nakamura als registres de microsismes s'obtenen freqüències predominants entre 5 i 10 Hz al NE de la vall, zona on es disposa de la majoria de sondatges geotècnics; a la zona de transició entre la vall i els vessants no s'observa amplifcació. De l'aplicació del mètode Nakamura als microsismes enregistrats en els vessants, s'obtenen tres zones amb diferent freqüència predominant: una entre 2 i 4 Hz, una altra amb freqüència predominant entre 5 i 10 Hz i una tercera sense amplifcació. Considerant el mapa de pendents s'observa que la freqüència predominant augmenta en augmentar el pendent.

Aplicació del mètode numèric Proshake

Considerant la informació continguda en la base de dades geotècnica d'Andorra s'ha dut a terme una estimació dels paràmetres dinàmics del sòl a la zona d'estudi i s'han caracteritzat les columnes estratigràfiques en 5 perfils representatius de la cubeta on s'han estudiat els efectes d'amplifcació local amb l'aplicació del mètode unidimensional lineal equivalent Proshake, a la figura 2 es presenta un esquema de la localització dels 5 perfils junt amb un exemple de l'estratigrafia i paràmetres dinàmics del perfil 3. Per als càlculs, com a sisme d'entrada en roca s'han adoptat accelerogrames a partir dels espectres corresponents a l'estudi de perillositat sísmica realitzat a l'ICC a escala de tot el Pirineu. S'ha avaluat la modificació de diferents paràmetres temporals i freqüencials



en funció del sisme de referència i del perfil considerat: valor màxim d'acceleració, durada de trifunac, intensitat de l'espectre de resposta, freqüència fonamental, valor màxim d'amplitud i intensitat d'Arias (Coral, 2002). Alguns resultats importants que s'obtenen són els següents: en els senyals temporals s'observa en tots els perfils un increment important de la seva durada respecte a la durada del registre en roca, les acceleracions màximes en superfície s'amplifiquen respecte les de roca fons a un factor 3 en el perfil 4. A la figura 3 es presenten les funcions de transferència obtingudes en cada perfil, analitzant les respectives freqüències fonamentals s'obtenen dues zones: una amb freqüència predominant entre 0.5 i 1 Hz amb amplitud màxima entre 6 i 9 que correspon als perfils estratigràfics 1, 2, 3 i 5; i una altra zona amb freqüència predominant entre 4.5 i 6.0 Hz amb amplitud màxima propera a 4 que correspon al perfil 4.

Aquest resultat són preliminars. Les dades obtingudes en la campanya de prospecció sísmica realitzada recentment a la cubeta permetran conèixer amb més detall el subsòl de la zona i realitzar una microzonificació més precisa.

Figura 2. Esquema dels perfils estratigràfics considerats en la zona d'estudi.

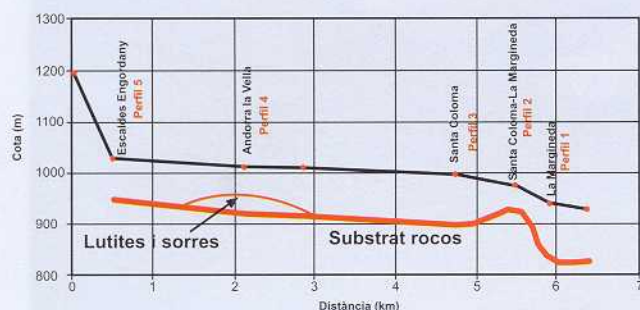
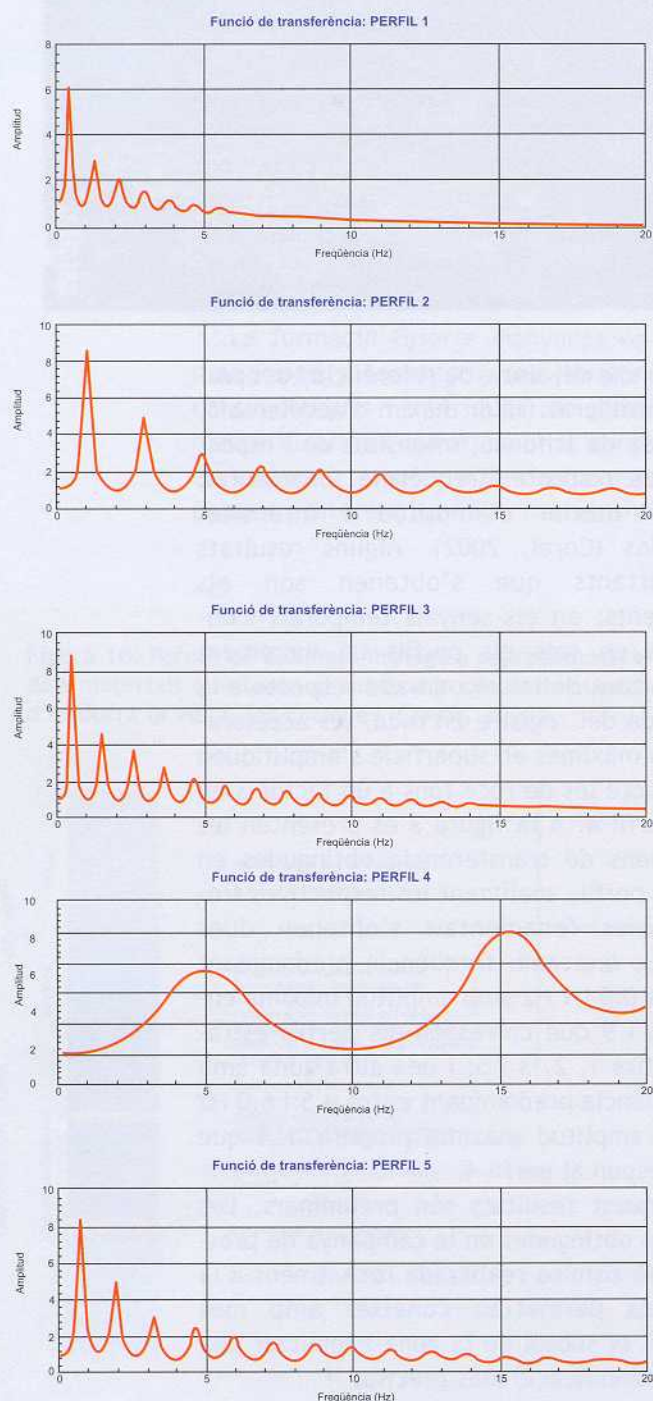


Figura 3. Funcions de transferència obtingudes en els 5 perfils de la zona d'estudi.



Perillositat d'esllavissades produïdes per terratrèmols

Una esllavissada és la despesa i caiguda d'una massa de terra o de rocs al llarg d'un vessant (Riba, 1997). A les rodalies d'Andorra la Vella les esllavissades presenten una gran importància en relació al nombre d'esdeveniments recents i a l'impacte social que presenten. Els despreniments de blocs rocósos són presents al llarg de tot el Solà d'Andorra i el Solà de Nadal (figura 4), mentre que a l'Obaga d'Andorra es presenten moviments lents del terreny.

Dos són els principals factors detonants de les esllavissades, un és l'aigua de pluja i l'altre poden ser els sismes. D'aquí la importància d'estudiar la relació entre els sismes i el desencadenament d'esllavissades.

Per a que es produeixi una esllavissada en un pendent particular, el valor del moviment sísmic ha d'ésser més gran que un valor llindar dit "acceleració crítica". L'acceleració crítica representa doncs una mesura de l'estabilitat dinàmica del talús i per tant de la susceptibilitat a què es produeixi una esllavissada induïda per un sisme. Per al càlcul de l'acceleració crítica és necessari conèixer el valor del pendent del talús i el factor de seguretat (FS) que expressa l'estabilitat estàtica. L'acceleració crítica es calcula amb la relació: $Ac = (FS - 1)g \cdot \sin \theta$.

S'ha tingut en compte el mapa geològic d'Andorra 1:50.000 (CRECIT, 2002) el qual ha permès individualitzar les litologies del substrat rocós i de les formacions superficials dels vessants; les propietats mecàniques d'aquestes litologies (cohesió i angle de fricció interna), necessàries per al càlcul del factor de seguretat FS dels vessants s'han estimat a partir d'una revisió bibliogràfica. Una vegada determinat el factor de seguretat FS s'ha calculat l'acceleració crítica Ac per diferents pendents θ i diferents materials.

Per avaluar la possibilitat d'esllavissada en la zona d'estudi s'han considerat tres accelerogrames representatius d'un moviment sísmic esperable de 0.1g. La diferència entre el valor màxim del moviment sísmic i l'acceleració crítica permet calcular un paràmetre anomenat "desplaçament de Newmark" (D) (Newmark, 1965) que pot associar-se al percentatge de superfície esllavissada. Aquesta associació es fa a



Figura 4. Aspecte general del Solà d'Andorra la Vella i del solà de Nadal.

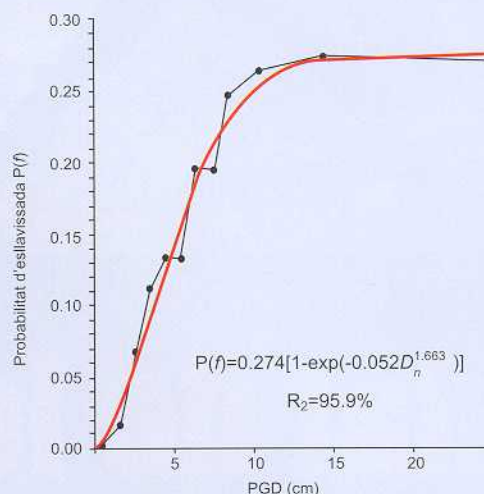


Figura 5. Corba de probabilitat d'esllavissada en funció del desplaçament de Newmark proposada per Jibson (Jibson et al., 1998).

partir d'una relació experimental deduïda de les observacions d'esllavissades que van produir-se durant el sisme de Northridge (Califòrnia) l'any 1994 proposada per Jibson (Jibson et al., 1998), representada per la gràfica de la figura 5.

Com a resultat més important cal destacar que per al nivell sísmic de 0.1g esperable a Andorra, s'obté una probabilitat

significant d'ocurrència d'esllavissada corresponent a una superfície entre el 1%-13% de la superfície total per a pendents superiors a 40° amb litologies formades per calcàries i pissarres.

■ Sara Figueras, Hugo Coral i Xavier Goula
Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC).

Bibliografia

- CORAL, H. (2002) Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para la microzonificación sísmica de áreas urbanizadas en Andorra. Tesis Doctoral UPC Barcelona, 207 p.
- CRECIT (2001). Base de Dades Geotècniques d'Andorra. Institut d'Estudis Andorrans. Andorra.
- CRECIT (2002). Mapa geològic d'Andorra 1:50.000. Dipòsit legal: AND.183-2002, ISBN. 99920-0-291-3.
- JIBSON, R. W., HARP, E. L., AND MICHAEL, J. A. (1998). A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps: an example from the Los Angeles, California, area. Science for a changing world (USGS).
- NAKAMURA, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. 30-1, p. 25-33.
- NEWMARK, N. M. (1965). Effects of Earthquake on Dams and Embankments. Geotechnique, vol 15 No. 2, 1965, p 139-159.
- PROSHAKE (2000). User's Manual. Ground Response Analysis Program. EduPro Civil Systems, Inc. Redmond, Washington.
- RIBA (1997), Diccionari de Geologia. Institut d'Estudis Catalans. Enciclopedia Catalana. 1.407 p.