



## NOVES APORTACIONS AL CONEIXEMENT DEL GRAN MOVIMENT DEL FORN DE CANILLO. PRINCIPAT D'ANDORRA

X. Planas (1), Corominas, J. (2), Vilaplana J.M. (3), Altimir, J. (4), Torrebadella, J. (5) i Amigó J. (6).

- (1) Ministeri d'Ordenament Territorial. Govern d'Andorra. Edif Prat del Rull, AD500-Andorra la Vella. [xplanas@andorra.ad](mailto:xplanas@andorra.ad)
- (2) Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). 08034 Barcelona. [jordi.corominas@upc.edu](mailto:jordi.corominas@upc.edu)
- (3) Universitat de Barcelona. Risknat (UB), C/ Martí Franqués s/n., 08028- Barcelona. [nue.vilaplana@ub.edu](mailto:nue.vilaplana@ub.edu)
- (4) Euroconsult. C/Na Maria Pla 33, bloc C, 3r-2a. AD500-Andorra la Vella. [jaltimir@euroconsult.ad](mailto:jaltimir@euroconsult.ad)
- (5) Euroconsult. C/Na Maria Pla 33, bloc C, 3r-2a. AD500-Andorra la Vella. [torrebadella@euroconsult.ad](mailto:torrebadella@euroconsult.ad)
- (6) Eurogeotècnica. Av. Corts Catalanes 5-7, 2a planta, 08173-Sant Cugat del Vallès. [jordi.amigo@eurogeotecnica.com](mailto:jordi.amigo@eurogeotecnica.com)

**Abstract (New contributions to the knowledge of the large landslide of el Forn de Canillo. Glacial evolution of the East Valley Valira in the Canillo zone):** This paper presents a new interpretation of the geological and structural evolution of the large landslide of "el Forn de Canillo" from the detailed analysis of the deep cores of soundings made over the years 2007-2009, laboratory analysis, fieldwork and background analysis of previous studies. It also presents the results of radiocarbon dating carried out of three samples. This datings, together with the published by Turu & Planas (2005), have helped to determine the age of the three major landslides that have affected the slope from the Upper Pleistocene, and define the relationship of the landslides with the glaciation of the area of Canillo.

**Palabras clave:** gran moviment, sondatge, auscultació, glacera.

**Key words:** large landslide, sounding, auscultation, glacier.

### INTRODUCCIÓ

Arran de l'anàlisi acurada dels testimonis de sondatges, assaigs de laboratori, reconeixement de camp i estudis anteriors es presenta en aquest article una nova interpretació de l'evolució geològica del gran moviment del Forn de Canillo. En aquest sentit, fins al moment es postulava per l'existència de tres grans moviments sobreposats en el temps, que ja foren descrits per Santacana (1994) i que s'atribuïen a una fase postglacial. Actualment, i gràcies als treballs realitzats els darrers anys, s'ha posat en evidència que existeixen criteris per pensar que el gran esllavissament del Forn és complex ja que probablement hi ha episodis que han estat retocats per una o més avançades de la glacera de la Valira d'Orient a partir del Darrer Màxim Glacial, mentre que d'altres es van donar en el postglacial. Així mateix, en aquest article es posen a la llum tres noves datacions radiocarbòniques (Fig. 1) realitzades sobre els materials perforats en uns sondatges realitzats pel MI Govern entre els anys 2007-2009.

Indret	Datació	Fraccionament
S3 (-7 m)	34250+/-320 BP	-23.0 o/oo
S3 (-25 m)	30770+/-230 BP	-19.3 o/oo
S8 (-33.5 m)	21250+/-120 BP	-21.5 o/oo

Fig 1: En les datacions radiocarbòniques no s'ha pogut avaluar l'efecte d'un possible envelliment relacionat amb el grafit existent en la zona del Forn heretat de les pissarres carbonoses d'edat siluriana. Tot i que el valor del fraccionament isotòpic (valor de Delta 13) de la datació S3 (-25m) podria reflectir un cert rejuveniment de la mostra.

### SITUACIÓ I ANTECEDENTS

El Forn de Canillo, situat al vessant orientat a ponent d'aquesta població del Principat d'Andorra (Fig. 4), ha presentat des del Pleistocè superior diverses inestabilitzacions que han donat peu a l'acumulació de dipòsits esllavissats de grans dimensions, que ocupen una extensió aproximada de 2,7 Km<sup>2</sup>. El gran

moviment del Forn fou descrit per primera vegada per Corominas i Alonso (1984), posteriorment Soutadé (1988) també estudià l'esllavissada apuntant que els materials del Forn van lliscar cap al fons de vall al retirar-se la glacera de la vall de la Valira d'Orient entre 20.000 i 10.000 anys. Més endavant Corominas (1990) descriu la influència de les glaceres en l'estabilitat dels vessants del Forn i Encampadana. Santacana (1994) realitzà també un treball molt aprofundit del gran esllavissament del Forn i l'expansió lateral d'Encampadana els quals situa després de la retirada de la glacera de la Valira d'Orient de la vall principal (entre 16.000 i 13.000 anys BP o inferior); Santacana (1994) distingeix pel Forn de Canillo tres grans episodis o moviments diferents separats en el temps: primer moviment de tipus rotació/translació amb flux al peu produït a l'extrem occidental de la zona del Forn i que podria haver obturat la vall principal, segon moviment de tipus complex, com el primer, que va obturar la vall principal formant un estany, i tercer moviment de tipus rotacional que fossilitzà part de les plataformes del segon, finalment també assenyala moviments molt més recents associats al peu de la massa esllavissada. Euroconsult (2002) va realitzar per encàrrec del MI Govern d'Andorra una zonificació de detall de la perillositat geològica del gran moviment del Forn, així com unes anàlisis d'estabilitat del vessant. Clariana (2004) va portar a terme un estudi estratigràfic i estructural del sinclinal de Tor-Casamanya que comprenia la zona del Forn de Canillo. Turu i Planas (2005) publiquen les primeres datacions realitzades sobre el Forn de Canillo; en aquest sentit aquestes datacions van permetre estimar que es va produir un obturació de la vall de la Valira d'Orient amb anterioritat als 11.250 +/- 90 BP, i que el moviment recent (d'acord amb la terminologia de Santacana) esdevingut en la zona de la urbanització Riba Grossa (Fig. 2) està limitat per l'edat de 8770 +/- 60 BP. Torrebadella et al. (2009)

recomprovaren les anàlisis d'estabilitat realitzades l'any 2002 mitjançant la informació geològica i geotècnica obtinguda a partir de la campanya de prospecció realitzada per encàrrec del Govern d'Andorra entre els anys 2007-2009, aquesta campanya constà en la perforació de 12 sondejos de profunditats compreses entre els 43-201 metres. Finalment, des de l'any 2005 les Forces Elèctriques d'Andorra (FEDA) i 2007 el Govern d'Andorra realitzen una auscultació periòdica mitjançant inclinòmetres, extensòmetres de barnilles i piezòmetres de corda vibrant del gran moviment del Forn de Canillo.

### VESTIGIS D'UN ANTIC ENGLAÇAMENT

La geomorfologia i els sediments glacials posen en evidència que el primer glacialisme quaternari que s'hauria desenvolupat a Andorra hauria estat de tipus plató o camp de gel (casquet). És sobre el relleu preglacial, envellit amb peneplanes i interfluvius, on s'hi encaixen les primeres glaciacions pleistocenes. L'acumulació de gel es degué produir en aquestes antigues i bastes superfícies (calms), de forma similar als casquets actuals d'Islàndia o Groenlàndia (o potser encara de forma més semblant als *Campos de Hielo* dels Andes), ja que els circs glacials estaven poc desenvolupats. Durant aquest antic glacialisme pleistocè la glacera de la Valira d'Orient arribà a traspasar el coll d'Ordino (cota 1980 metres) deixant blocs erràtics de litologia al·lòctona (granodiorites i quarsfil·lites) en el vessant ordinenc del Forat Fosc (Planas i Ponsa, 1998), així mateix aquesta glacera va deixar una morfologia d'erosió glacial en la zona de la part alta del vessant sud-est del Bony de les Neres (cotes 2200-1900 metres) (Fig. 2). En aquest moment en el flanc esquerre de la Valira d'Orient la glacera assolí la zona del Comptador (aprop del Cap de Rep, per sobre la cota 2100 m), associat a aquesta fase hom localitzà abans de la construcció de les pistes d'esquí del Forn de Canillo un bloc erràtic de granodiorita situat en la zona dels Emprius de la Llosada (cota 2260 metres). La morfologia del vessant del Forn en aquest moment no propiciava que es poguessin desencadenar grans inestabilitzacions.

Posteriorment el nivell de base de la vall principal baixa, a causa de l'erosió remuntant de les glaceres propiciada pels darrers ajustaments tectònics derivats de les últimes pulsacions alpines (Calvet, 1999), a conseqüència d'aquesta baixada del nivell de base la glacera inicia un escalonat, però gradual encaixonament, que s'accentuarà més durant les

fases associades al Darrer Cicle Glacial, propiciant inicialment la formació dels cordons morrènics en la zona dels Planells de les Basses (sota el coll d'Ordino), la continuació i l'ampliació de la plataforma glacial del Roc del Quer (datada per Turu, (2009) en  $59\pm 1.18$  Ka ( $^{21}\text{Ne}$ )), l'escarpament glacial en la zona del Comptador-Pla del Socarrat (damunt del poble de Meritxell, entre les cotes 1800-2100 metres), l'esculpiment de l'espadat rocós del Roc del Quer i la gorja subglacial de la Bor (sota Meritxell).

### PRIMER EPISODI DEL FORN

És en aquest moment, després d'una forta erosió per la glacera del peu del vessant, quan el sector del Forn esdevé inestable, descomprimint-se, per les noves condicions i s'hi desencadenà un primer gran moviment de tipus rotació/translació amb flux al peu. D'acord amb Santacana (1994) altres factors que van donar lloc a aquest primer gran moviment foren també el paper de l'aigua i la litologia. En aquest sentit, els materials argilo-carbonosos del Silurià van ser els responsables, per la seva incompetència, del trencament, arrossegant amb ells materials devonians; segurament, aquest moviment va ser ajudat per un increment de la pressió intersticial en els materials al retirar-se la glacera. L'estructura tectònica en sinforme amb apilament d'encavalcaments i zones de desenganxament constituïdes per materials carbonosos silurians amb trams molt milonitzats propicià també que el vessant presentés unes condicions favorables a la inestabilització. Els materials remobilitzats en aquest episodi, tal i com ja apuntà Santacana (1994), provenien de la zona compresa entre el Pla del Géspit-Roca de Carmenús-Costa de les Gerqueres, i no es descarta que arribessin a obturar la vall principal. La morfologia generada en aquest primer episodi fou posteriorment retocada pels efectes d'esllavissades més recents provinents del sector Costa dels Maians-Roca del Forn, una possible avançada de la glacera de la Valira d'Orient, així com la mobilització d'aquests col·luvions en forma de glacera rocallosa vessant avall. Les morfologies de glacera rocallosa en aquest lòbul ja foren cartografiades per Soutadé (1988) en la zona de Cap de Rep-Pla del Géspit-Serrat dels Miquelets; tanmateix, hom pot localitzar associat a aquests materials blocs decimètrics d'aplita (litologia local) amb estries glacials en superfície en la zona propera a l'antic abocador situat sobre el serrat dels Miquelets (cota 1750 metres) i graves i còdols amb morfologies glacials en la zona de la pista Rossinyol del domini Grandvalira entre les cotes 2020-2070 metres (Turu, com. pers.).



Fig. 2: Antigues morfologies glacials en la zona del Coll d'Ordino-Mereig-Roc del Quer.

### SEGON EPISODI DEL FORN

Santacana (1994) descrigué una segona gran esllavissada en el vessant del Forn de Canillo. Aquesta presentava la zona de sortida entre la Roca del Forn-Pic del Maià-Fangots dels Maians i es col·locava per damunt del primer episodi del Forn fins obturar la vall principal.

A través dels treballs efectuats recentment en el vessant del Forn s'ha observat notables diferències en les característiques composicionals d'aquest tram. El en sector de la Peracaus, tram que Santacana (1994) cartografià com a relicte en el marge dret del Valira d'Orient del segon lòbul s'hi ha observat una terrassa (kame o glacio-al·luvial) a uns 1540 metres d'alçada, fossilitzada per uns grans blocs possiblement despresos del sector del Roc del Quer, i un till subglacial que deforma unes graves glàcio-al·luvials. En la zona de Sella, aprop del riu Valira d'Orient hom ha observat un arc morrènic fronto-lateral (cota 1530-1540 m). En la zona del Cultiar i sota Riba Grossa (per sota de la cota 1620 m) hom observa en superfície, i de forma dispersa, blocs i graves al·lòctones amb morfologia arrodonida (granodiorites, esquistos i quarsfil·lites) (Fig. 3), algun tram amb sediment glacial (till) i clasts de litologia local (calcoesquists devonians) que en la zona de Cal Jaumina-Borda del Jarca sembla que es disposen seguint una forma arquejada (cotes 1600-1630 m).



Fig. 3: Bloc granodiorític en la zona de cal Jarca.

En els primers 29 metres del sondeig S3 (cota 1608,46 m) es perforaren uns nivells argilo-llimosos intercalats amb uns altres més gravosos que foren datats radiocarbònicament obtenint-se (per la mostra situada a -7 metres una edat de 34.280+/-320 BP, Beta-245215 i per la mostra situada a -25 metres una edat de 30.770+/-320 BP, Beta 245217); tanmateix per sota dels 30 metres i fins als 85-110 metres es perforà un nivell constituït per blocs. Aquest nivell probablement es pot correlacionar amb l'observat en el flanc dret del trencament rotacional que es troba entre Prats-Sella i en una antiga excavació situada abans de la cruïlla de Prats. En aquest mateix sondeig per sota dels 121 metres es perforà un nivell de farina de falla carbonosa d'aspecte negre

Entre els 19-44,5 metres del sondeig S8 (cota 1749,78 m) possiblement es perforaren uns sediments amb unes característiques similars als dels 29 primers metres del S3. Aquí, a més a més, s'hi trobaren uns nivells lilitats de sorres fines i llims entre els 33-37 m datats als 33,5 metres amb 21.310+/-120 BP (Beta-245216). Els primers 19

metres d'aquest sondeig corresponien a un col·livió amb blocs graves i gravetes angulosos-subangulosos de composició carbonatada, fil·lítica i pissarroso, amb matriu lutítica (llims i sorres molt fines). Aquests mateixos materials són els observats en la zona de l'obaga del Cultiar per damunt de la cota 1640 m i al llarg del serrat de la Palanqueta en el sector proper al S8. En aquest mateix sondeig per sota dels 45 metres es perforà una franja de composició carbonosa negra amb aspecte de farina de falla.

### TERCER EPISODI DEL FORN

Santacana (1994) descrigué un tercer moviment en el vessant del Forn de Canillo de tipus rotacional que fossilitzà part de les plataformes del segon. Aquest presentava la zona de sortida en el sector de la Roca del Forn. Mitjançant els darrers treballs efectuats en el vessant del Forn hom ha observat que el lòbul generat en la tercera gran esllavissada s'hauria acomodat contra els col·luvions del segon moviment. Aquest lòbul es caracteritza per englobar grans blocs que es detecten aproximadament entre els 15-70 metres en el S9 i S9' i que geomorfològicament aparenten un front d'aturada màxim vers la cota 1700 m (per sota cal Call).

### MOVIMENTS RECENTS

Santacana (1994) assenyala l'existència sobre la massa esllavissada de moviments molt més recents. Fins abans de la instrumentació del gran moviment hi havia evidències indirectes de moviments residuals sobre la massa esllavissada (fissures en el canal hidràulic de FEDA, esquerdes en edificis i infraestructures viàries situades sobre el gran moviment, etc.). Actualment, i gràcies a la instrumentació col·locada per FEDA i el Govern d'Andorra hom ha pogut caracteritzar més els submoviments de cal Ponet-cal Borronet, Prats, etc., podent quantificar-se i ajustar millor les velocitats i els límits (Torredadella *et al.* 2009).

### INTERPRETACIÓ

Es fa difícil resseguir les morfologies dels grans moviments que s'han donat en el vessant del Forn ja que es troben bastant desdibuixades atès que algunes d'elles són molt antigues, que la glacera de la Valira d'Orient les ha esborrades o retocades i d'altres han estat modificades antròpicament (pistes d'esquí, urbanitzacions, etc.). No obstant això, i gràcies a les darreres campanyes de sondeigs, auscultació, assaigs de laboratori i realització de datacions radiocarbòniques, hom interpreta, en la línia del treball de Santacana (1994), que en el vessant del Forn s'han esdevingut en el passat com a mínim tres grans moviments separats en el temps; tot i que actualment es creu plausible que no totes elles s'esdevingueren en el postglacial (Fig. 5).

El primer d'aquests moviments arrencà de la zona compresa entre el Pla del Gèspit-Roca de Carmenús-Costa de les Gerqueres i no es descarta que arribés a obturar la vall principal. Gràcies a les datacions realitzades en el S3 s'obren diverses interpretacions. La primera és que aquesta esllavissada s'hagi produït abans dels 30.000 BP.



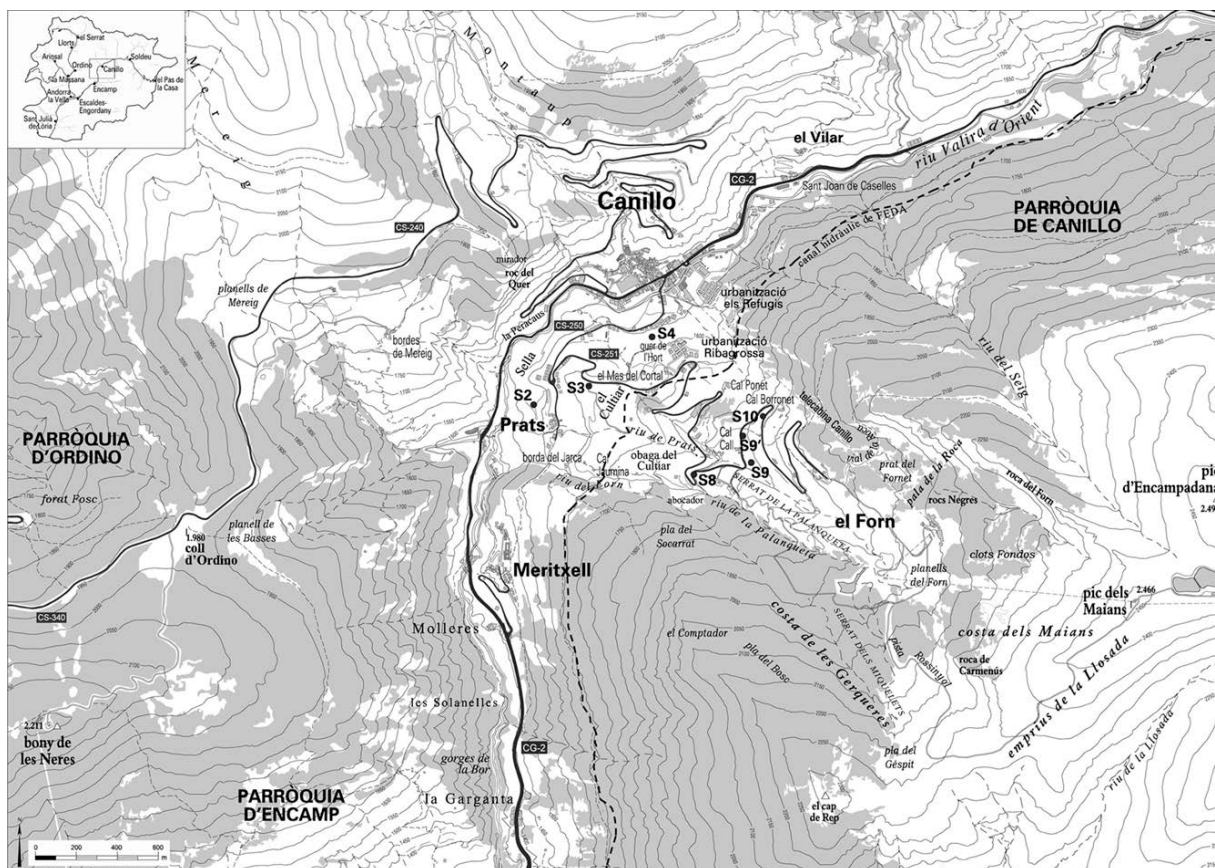


Fig. 4: Mapa del Forn de Canillo i sectors propers.

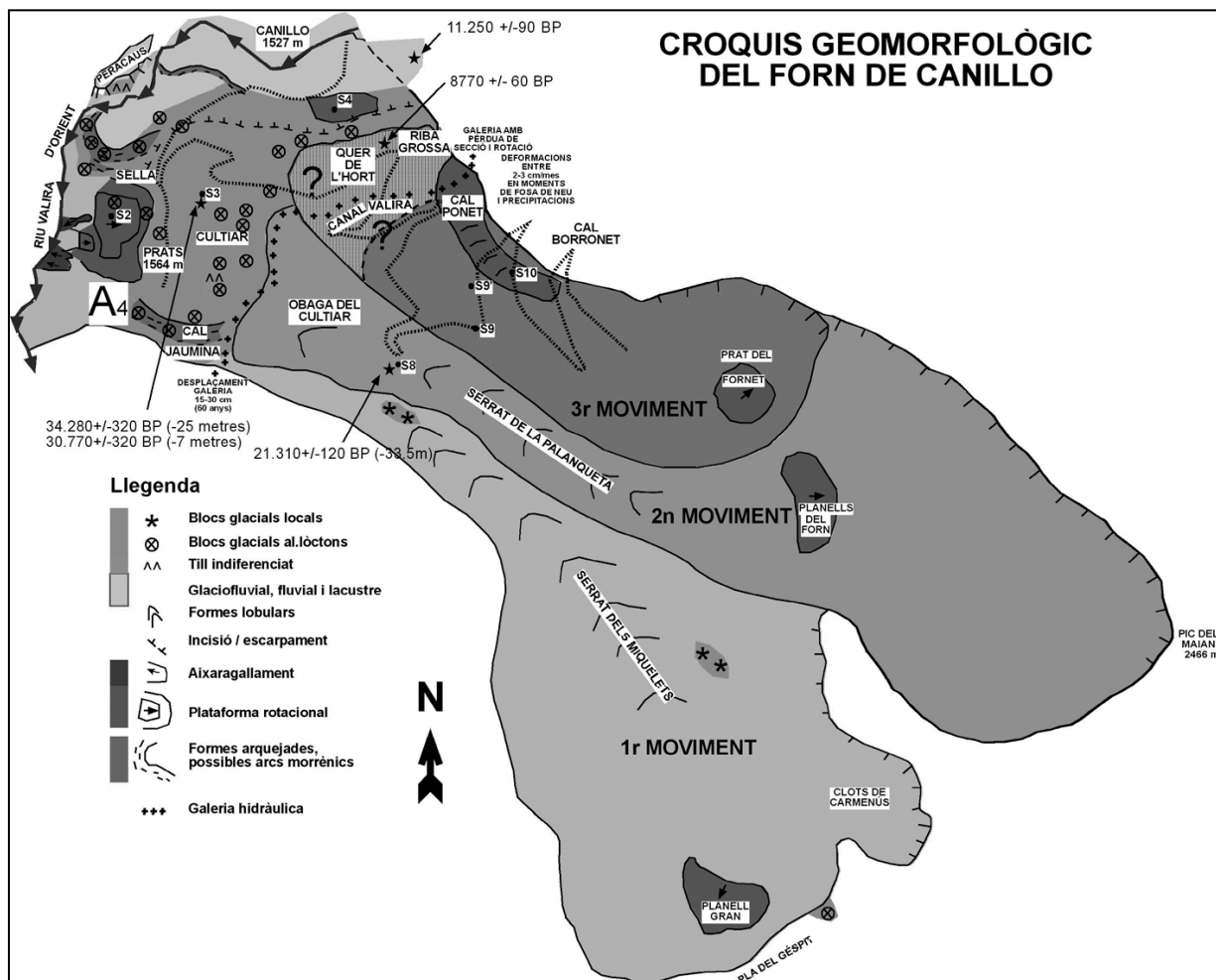


Fig. 5: Croquis geomorfològic del Forn de Canillo

Aquesta possibilitat cal prendre-la amb precaució perquè es pot tractar de materials relacionats amb la glacera, mobilitzats per la pròpia esllavissada. Les edats obtingudes es troben invertides (la mostra més profunda dona una edat més recent que la més superficial) i aquesta inversió podria explicar-se per remobilitzacions dins del gran moviment. D'altra banda, no es pot descartar la contaminació de les mostres i un envelliment forçat degut a la presència de les pissarres carbonoses del Silurià. En relació al possible origen dels materials perforats en els primers 29 metres en aquest sondeigs, hom apunta dues possibilitats com a més versemblants: a) podrien correspondre a nivells glacials que un avanç de la glacera de la Valira d'Orient hauria sedimentat sobre els materials de la primera esllavissada; b) podrien correspondre a nivells glacials esllavissats en un episodi posterior situats anteriorment a cota més elevada. La primera d'aquestes dues hipòtesis implicaria que després de la primera esllavissada del Forn hi hagué una fase freda que propicià un avanç de la glacera de la Valira d'Orient en el sector de Canillo que hauria retocat del lòbul d'aquest primer moviment. Aquesta fase freda també hauria afectat els col-luvions d'aquesta primera esllavissada situats per damunt de la cota 1720 m.

El segon gran moviment presenta una zona de sortida compresa entre la Roca del Forn-Pic del Maià-Fangots dels Maians i es col·loca, en part, per damunt de la primera esllavissada. D'acord amb la datació realitzada en el S8 sobre uns nivells lilitats de sorres fines i llims trobats entre els 33-37 m, datats als 33,5 metres, amb 21.310±120 BP (Beta-245216) que van ser tapats pels col-luvions d'aquesta segona esllavissada semblaria plausible que aquest segon episodi és posterior a aquesta edat, no poguent-se descartar del tot que fins i tot fos més recent i es pogués correlacionar amb la datació obtinguda en un tronc incorporat en col-luvions en la zona de Riba Grossa (Turu i Planas, 2005) de 8770±60 BP. L'abast d'aquesta esllavissada és complex de seguir, hom planteja dues possibilitats: a) s'hauria aturat aproximadament per damunt de la cota 1640 en la zona del Cultiar i a uns 1600 metres en el sector de Riba Grossa, atès que els materials observats per damunt d'aquestes cotes són col-luvions de litologia local, mentre que per sota d'aquesta cota hom troba en superfície blocs glacials de litologia al·lòctona (granodiorites); b) que l'abast hagués estat major ja que hagués arrossegat frontalment i vessant avall els materials glacials situats anteriorment a més cota.

La tercera gran esllavissada presenta com a zona de sortida l'espadat de la Roca del Forn situat per damunt del Prat del Fornet. Aquest gran moviment es va acomodar contra la segona gran esllavissada, cosa que hauria generat un *push* que hauria recrescut el serrat de la Palanqueta i possibilitat l'establiment d'un sistema de drenatge central en la zona (canal de Bartreta-riu de Prats). L'abast d'aquesta esllavissada se segueix en superfície fins a les proximitats de cal Call i també ha estat detectat en profunditat en el S9 i S9'; no obstant, no s'ha de descartar que hagués pogut arribar fins a la zona de Riba Grossa, i se li pogués atribuir la datació de Turu i Planas (2005) de 8770±60 BP.

Finalment, hom posa en evidència l'existència de retocs glacials en la massa esllavissada. A partir de les datacions en el S3 i S8 es pot estimar que entre els 34.280±320 BP i els 21.310±120 BP la glacera de la Valira d'Orient passà per la zona de Canillo; tanmateix, un antic englaçament també havia ocupat la zona, però d'entrada no sembla plausible que hagués causat inestabilitzacions al vessant del Forn. Amb posterioritat als 21.310±120 BP la glacera de la Valira d'Orient va tornar a avançar en la zona de Canillo, erosionant i retreballant el peu del gran moviment del Forn. En relació amb aquest últim avanç hom pot resseguir l'escarpament ocasionat als col-luvions i dipòsits glacials previs en la zona compresa entre la cruïlla de Prats i la zona baixa de Riba Grossa, que pot correlacionar-se amb un arc fronto-lateral (cota 1530-1540 m) en la zona de Sella i un till subglacial i una terrassa (kame o glacial-luvial, cota 1540) a zona alta del talús d'eixample de la CG núm. 2 en el sector de la Peracaus. Aquest arc morrènic hauria ocasionat un barratge i una sedimentació lacustre aigües amunt que possiblement correspondria a la datada per Turu i Planas (2005) amb 11.250 ±90 BP.

### Referències bibliogràfiques

- Calvet, M. (1999). Rythmes et vitesses d'évolution morphogénétique dans un orogène alpin. Le cas des Pyrénées orientales franco-espagnoles. *Geomorph. N.F.*, Suppl. Bd.118, p. 91-105.
- Clariana, P. (2004). El sinclinal de Tor-Casamanya. Estudi estratigràfic i estructural. Nova cartografia geològica a escala 1:25.000. A *Horitzó* núm. 6, Revista del Centre de Recerca en Ciències de la Terra. Institut d'Estudis Andorrans. Andorra la Vella.
- Corominas, J. & Alonso, E. (1984). Inestabilidad de laderas en el Pirineo catalán: tipología y causas- A *Jornadas Inest. Laderas en el Pirineo*. C1-C53. Barcelona.
- Corominas, J. (1990). Influencia del glaciario cuaternario en la estabilidad de las laderas del valle del Valira d'Orient (Andorra). A *I Reunión Nacional de Geomorfología*. 521-532. Teruel.
- Euroconsult (2002). Estudi de la zonificació del terreny segons la seva problemàtica geològica. Gran moviment del Forn. Parròquia de Canillo. Govern d'Andorra.
- Planas, X. & Ponsa, A. (1998). Noves dades sobre l'abast de la glacera del Valira d'Orient a la zona del coll d'Ordino, Principat d'Andorra. Informe intern IEA (inèdit).
- Santacana, N. (1994). Estudi dels grans esllavissaments d'Andorra: Els casos del Forn i del vessant d'Encampadana. Tesina del Departament de Geologia Dinàmica i Paleontologia de la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona.
- Soutadé, G. (1988). Le glissement d'el Forn (Andorra). II Simposio Inest. A *Taludes y Laderas Naturales*:643-655. Andorra la Vella.
- Torrebadella, J., Villaró, I., Altimir, J., Amigó, J., Vilaplana, J.M., Corominas, J., Planas, X. (2009). El deslizamiento del Forn de Canillo en Andorra. Un ejemplo de gestión del riesgo geológico en zonas habitadas en grandes deslizamientos. A *VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Barcelona.
- Turu, V. & Planas, X. (2005). Inestabilidad de vertientes en los valles del Valira. Datos y dataciones para el Valira. Datos y dataciones para el establecimiento de una cronología, posibles causas. Andorra y Alt Urgell (Pirineos Orientales). A *VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. València.
- Turu, V. (2009). Les vallées glaciaires latérales et crise paraglaciale Montaup-Encampadana et El Forn de Canillo, 2<sup>o</sup> Arrêt (VTM). A *Le Glacière des Pyrénées orientales: Ariège et Andorre. Excursion annuelle de l'AFEQ, 5- Juin 2009*. Libret coord. M. Delmas, V. Turu. AFEQ, MÉDI-TERRA, M. Chevalier edit.