

L'INTEGRAZIONE DI TECNICHE GEOMATICHE PER L'INTERPRETAZIONE MULTI-TEMPORALE DELLE VARIAZIONI DI VOLUME DELLE SUPERFICI DI CAVA

GEOMATICS INTEGRATION TECHNIQUES FOR THE INTERPRETATION OF MULTI-TEMPORAL CHANGES IN GEOMETRIES AND VOLUMES OF QUARRIES

Andrea M. Lingua, Paolo Dabove, Paolo Maschio, Marina De Maio

Politecnico di Torino – Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129, Torino,
(andrea.lingua, paolo.dabove, paolo.maschio, marina.demaio)@polito.it

PAROLE CHIAVE: integrazioni tecniche geomatiche, interpretazione multi-temporale, geometrie di cava, rilievi GNSS

KEY WORDS: geomatics integration techniques, multi-temporal interpretation, geometries of quarries, GNSS surveys

RIASSUNTO

La geomatica attuale mette a disposizione numerose tecniche che permettono di acquisire informazioni sul territorio, correttamente localizzate nel tempo per una comprensione multi-temporale dei fenomeni dinamici. In particolare, le attività estrattive (coltivazione di cave e miniere) richiedono operazioni di controllo e verifica necessarie per la protezione e la salvaguardia dell'ambiente e del territorio già largamente applicate, a volte in modo non corretto, e spesso senza sfruttare i numerosi dati oggettivi disponibili. Nel presente lavoro verrà mostrato come l'integrazione di differenti tecniche geomatiche possa essere di supporto per decisioni di tipo giuridico quando si debbano, ad esempio, valutare le geometrie e i volumi di cave.

ABSTRACT

Geomatics offers numerous techniques that can provide territorial information, properly time-localized for understanding of multi-temporal dynamic phenomena. In particular, mining activities (cultivation of quarries and mines) require inspection and verification necessary for the protection and preservation of the environment and the territory already widely applied, sometimes incorrectly, and often without taking advantage of the wealth of data available. In the present work will be shown how the integration of different Geomatics techniques could be of support to the decisions of a legal nature when, for example, it is necessary to evaluate the geometries and volumes of quarries.

1. INTRODUZIONE

In ambito forense con applicazione a un caso reale, il presente lavoro vuole illustrare come l'integrazione di tecniche geomatiche possa essere di supporto a decisioni giuridiche anche in procedimenti di tipo penale. In particolare nel presente lavoro si vogliono analizzare le tecniche utilizzate e i risultati ottenuti da tali integrazioni al fine di determinare la geometria di una cava (cava Vallona, dislocata a Romentino in provincia di Novara) oggetto di un procedimento legale ad opera del Tribunale di Novara e le sue variazioni morfologiche nel tempo. Non verranno fornite maggiori informazioni circa la cava ed il procedimento penale in quanto l'obiettivo del presente lavoro è di mostrare come si possano integrare differenti tecniche geomatiche per raggiungere gli scopi precedentemente citati. Dopo una descrizione relativa ai dati primari utilizzati e le loro caratteristiche peculiari (qualità, precisioni, problemi, ecc.) si vogliono mostrare le tecniche utilizzate per il rilevamento a terra dello stato attuale, comprese le procedure di estrazione delle informazioni geometriche dai fotogrammi aerei e loro accuratezza per giungere alla verifica degli elaborati grafici di progetto e di documentazione delle ispezioni della Provincia di Novara. Quindi, la campagna di rilievo a terra ha previsto l'acquisizione di informazioni metriche necessarie per valutare lo stato di fatto mediante operazioni topografiche quali rilievi

statici GNSS, rilievi cinematici NRTK in appoggio alla rete della Regione Piemonte, rilievi con stazione totale integrata per rilevare lo stato attuale della zona di cava interessata oltre che rilievi con stazione totale per acquisire dettagli necessari per localizzare correttamente gli elaborati esistenti. Inoltre sono state svolte analisi anche in merito alle operazioni di ausilio per indagini idrogeologiche andando ad analizzare la localizzazione planimetrica sia dei piezometri presenti nell'area sia di altre posizioni di acquisizione dei livelli idraulici mediante tecnica GPS/GNSS oltre che alla definizione della quota ortometrica della testa dei piezometri (o di altro punto a cui riferire le misure di livello) mediante livellazione geometrica di precisione. Non è stato necessario rilevare punti d'appoggio fotogrammetrico in quanto i modelli fotogrammetrici disponibili erano disponibili con i parametri di orientamento esterno correttamente determinati mediante triangolazione fotogrammetrica.

Infine, in seguito a quanto descritto in precedenza, si è potuta effettuare un'interpretazione geometrica multi-temporale delle variazioni di volume delle superfici della cava.

2. I DATI DISPONIBILI

Al fine di poter svolgere un'analisi accurata circa la situazione delle geometrie della cava in esame, si è reso indispensabile

andare a reperire tutti i dati disponibili per l'area oggetto di studio. In particolare, è possibile suddividere tali dati in dati cartografici e dati fotogrammetrici. Per quanto riguarda la componente cartografica, si è potuto disporre:

- della sezione n. 117100 (Torre Mandelli) della Carta Tecnica Regionale (CTR) con aggiornamento al 2001, nel sistema cartografico Gauss-Boaga legato al sistema di riferimento ROMA40. Recentemente questa cartografia è stata georeferenziata nel sistema di riferimento WGS84 ETRF2000 con rappresentazione cartografica UTM (Universal Transverse of Mercatore) legata al fuso 32 (Figura 1a);
- dell'ortofoto di recente approvazione legata ad un volo fotogrammetrico del 2009, nel sistema di riferimento WGS84 ETRF2000 con rappresentazione cartografica UTM (Figura 1b);
- del modello altimetrico di livello 4 determinato mediante rilievo laser scanner da aereo con passo 5 m acquisito nel 2009, nel sistema di riferimento WGS84 ETRF 2000 con rappresentazione cartografica UTM (Figura 1c);

della cartografia catastale nel sistema cartografico Cassini-Soldner (Figura 1d).

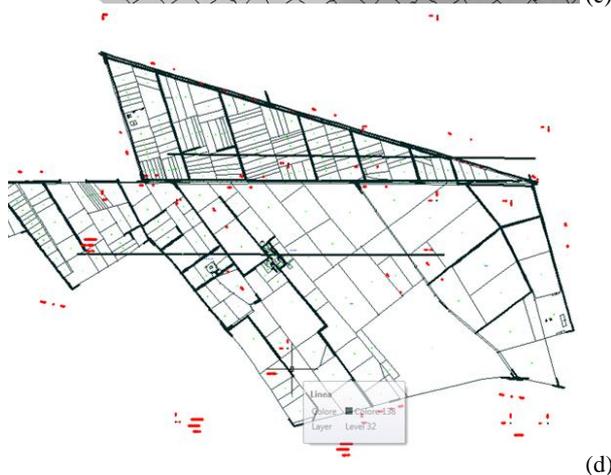
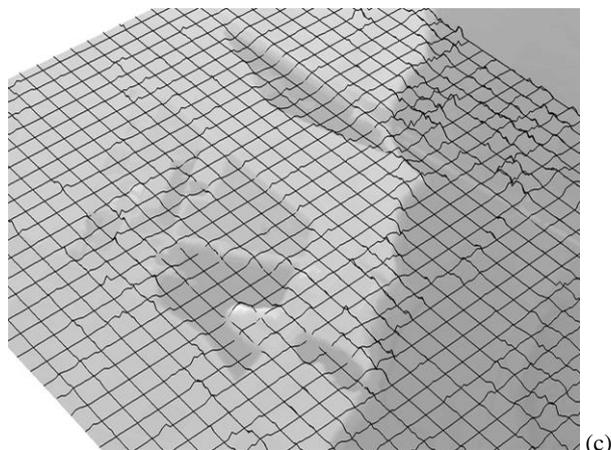
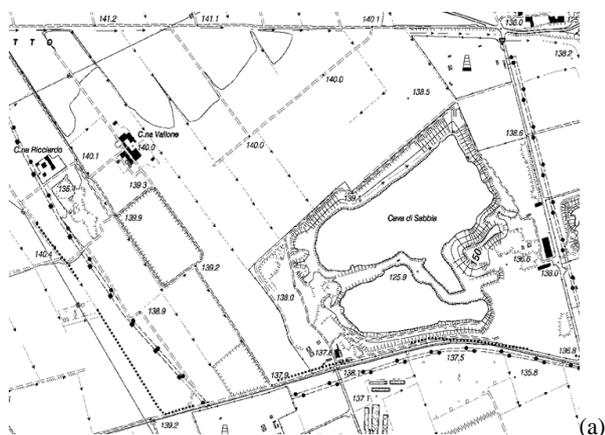


Figura 1. Cartografia disponibile: carta tecnica regionale (a), ortofotocarta (b), modello altimetrico ottenuto da lidar (c), carta catastale (d) dell'area in esame

Per quanto riguarda i dati fotogrammetrici, sempre per l'area in esame, sono stati utilizzati anche due voli effettuati in periodi prossimi a quello interessato:

- volo fotogrammetrico realizzato nel 2009 per l'ortofoto della Regione Piemonte mediante camera fotogrammetrica digitale in formato frame di tipo Z/I DMC con Ground Sample Distance (GSD) massimo di 28 cm;
- volo fotogrammetrico realizzato da Blom-CGR Parma nel 2010 con sensore digitale ADS40 di Leica Geosystems con GSD medio di 60 cm.

I dati fotogrammetrici hanno parametri di orientamento interno ed esterno noti nel sistema di riferimento WGS84 ETRF 2000 con rappresentazione cartografica UTM, fuso 32 e quota ortometrica. Possono pertanto essere direttamente utilizzati per il presente studio.

Inoltre sono stati messi a disposizione, sia dalla Ditta chiamata in causa sia dagli enti di verifica, alcuni elaborati grafici e relazioni precedenti al periodo in questione. Da un'analisi preliminare in particolare si è potuto riscontrare che, per quanto riguarda gli elaborati svolti per conto della Ditta, anche se è presente una base di derivazione catastale, le informazioni contenute in questi elaborati risultano ruotate, traslate e scalate rispetto al sistema cartografico Cassini-Soldner e non sono direttamente sovrapponibili con altri dati disponibili. Invece, per quanto riguarda gli elaborati prodotti dagli Enti di verifica, si nota che tali elaborati non sono realizzati in un chiaro sistema

di riferimento con una definita rappresentazione cartografica e non sono direttamente sovrapponibili con altri dati disponibili. Ne consegue che è innanzi tutto necessario stabilire in maniera univoca un unico sistema di riferimento e di coordinate da adottare sia per la visualizzazione dei dati disponibili che per la consegna dei rilievi che si andranno ad effettuare ex-novo. Si è deciso perciò di utilizzare il sistema di riferimento ETRS89 nella sua realizzazione ETRF2000 (epoca 2008.0), così come stabilito dal D.P.C.M. 10 novembre 2011, Gazzetta n. 48 del 27 febbraio 2012, che lo stabilisce come sistema di riferimento ufficiale in Italia, con rappresentazione cartografica conforme UTM (coordinate cartografiche Est, Nord UTM-WGS84-ETRF2000) applicata al fuso 32. Per quanto riguarda la componente altimetrica, si è ovviamente scelto il geoide come superficie di riferimento delle quote andando a convertire le eventuali altezze ellissoidiche in quote ortometriche tramite il modello di geoide (ITALGEO) più recente (attualmente ITALGEO2005), messo a disposizione dall'Istituto Geografico Militare.

Per le finalità del presente studio, analizzando le informazioni contenute negli elaborati forniti, è possibile stabilire la scala nominale di riferimento (1:2000), la precisione prevista (scarto quadratico medio, sqm, pari a 40 cm) e la tolleranza stabilita (80 cm) sia per la planimetria che per l'altimetria.

Come verrà mostrato in seguito, le operazioni di rilievo dello stato attuale garantiscono uno scarto quadratico medio (sqm) oltre 10 volte più piccolo rispetto alle precisioni della cartografia in scala 1:2000, in modo da offrire un dato di confronto corretto per le indagini sugli elaborati grafici e una informazione efficace per i dettagli necessari alle operazioni idrogeologiche.

3. LA METODOLOGIA OPERATIVA E LE CAMPAGNE DI MISURA

La metodologia utilizzata per giungere alla conoscenza geometrica multi-temporale della cava in oggetto è descritta nelle seguenti fasi (Figura 2):

- a) raccolta del materiale disponibile;
- b) realizzazione ed elaborazione rilievo topografico in loco per:
 - descrivere lo stato attuale della cava;
 - rilevare i caposaldi presenti e altri dettagli stabili per georeferenziare gli elaborati grafici;
 - posizionare planimetricamente e altimetricamente i piezometri presenti nella zona e gli altri elementi utili per le indagini idrogeologiche;
- c) restituzione dei modelli fotogrammetrici;
- d) georeferenziazione, verifica e vettorizzazione degli elaborati grafici;
- e) generazione visualizzazioni multitemporali esplicative.

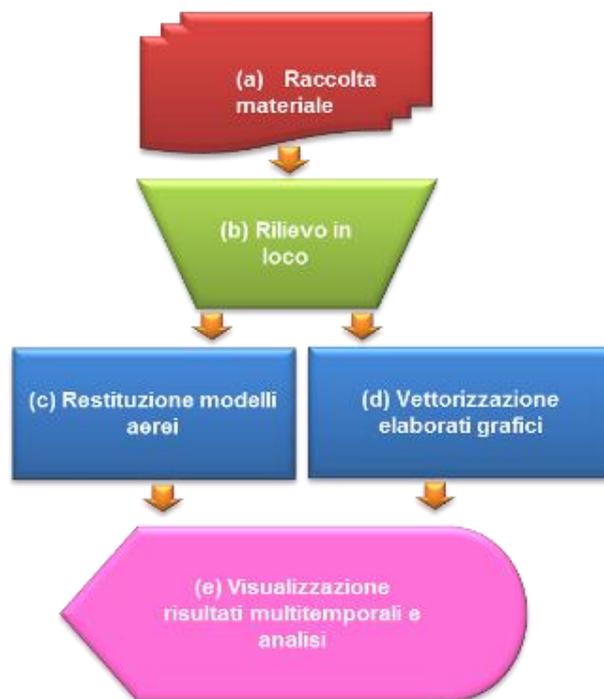


Figura 2. Procedura seguita

La campagna di rilievo a terra permette di acquisire un insieme di informazioni metriche necessarie per fotografare lo stato di fatto mediante:

- 1) Operazioni topografiche:
 - a. Il rilievo della rete d'inquadramento di precisione realizzata con tecniche GPS/GNSS e ricevitori geodetici doppia frequenza, appoggiata alla rete di stazioni permanenti della Regione Piemonte per definire ed inquadrare tutti i rilievi svolti nel sistema di riferimento scelto;
 - b. Il rilievo dello stato attuale della zona di cava interessata mediante tecniche topografiche moderne (GPS/GNSS in modalità RTK, stazione totale integrata).
 - c. Il rilievo dei dettagli necessari per localizzare correttamente gli elaborati esistenti nel sistema di coordinate utilizzato;
- 2) Operazioni di ausilio alle indagini idrogeologiche.
 - a. Localizzazione planimetrica dei piezometri presenti nell'area e delle altre posizioni di acquisizione dei livelli idraulici mediante tecnica GPS/GNSS e ricevitori doppia precisione.
 - b. Definizione della quota ortometrica (sul livello del mare) della testa dei piezometri (o di altro punto a cui riferire le misure di livello) mediante livellazione geometrica di precisione.

Come già detto in precedenza, non è stato necessario rilevare punti d'appoggio fotogrammetrico in quanto i modelli fotogrammetrici disponibili sono già orientati.

3.1 Il rilievo della rete di inquadramento

La rete d'inquadramento è stata materializzata mediante due vertici stazionabili (denominati arbitrariamente 1000 e 2000) materializzati con picchetto metallico infisso nella terra. Questi vertici sono stati posizionati intorno alla zona da rilevare (a nord e sud) come si può vedere nella Figura 4.

Per il loro posizionamento di precisione sub-centimetrica è stata utilizzata una semplice rete GPS/GNSS rilevata in modalità statica con 2 sessioni di misura di 1 ora ciascuna (rate di acquisizione pari a 5 s) utilizzando la rete di stazioni permanenti citata precedentemente.

Sui due vertici sono stati posizionati due ricevitori GNSS (System 1200 di Leica Geosystems e GRS1 di Topcon) doppia frequenza e multi costellazione, lasciati in acquisizione per oltre 1 ora con rate di acquisizione di 5 s e cut-off di 15°. Tutti i dati acquisiti sono stati in seguito compensati, in modalità multibase, con il software commerciale Leica Geo Office v.8.0 della ditta Leica Geosystems®.



Figura 3. Ricevitore GNSS posizionato sul vertice 1000

3.2 Il rilievo di dettaglio

Il rilievo di dettaglio della zona di cava interessata dal contenzioso è stato svolto mediante la stazione totale Smart Station di produzione di Leica Geosystems avente precisioni nominali pari a 0.3 mgon per le osservazioni angolari e 2 mm + 2 mm/km per le distanze. Tale strumento è stato posizionato sui due vertici di rete 1000 e 2000 (già rilevati con tecnica GPS/GNSS) e la stazione è stata orientata sul vertice opposto (per esempio con stazione sul vertice 1000, l'orientamento è stato svolto rispetto al vertice 2000).

Il rilievo di dettaglio è pertanto stato svolto mediante tecnica celerimetrica: per ogni punto rilevato è stata seguita la tecnica dell'irraggiamento misurando una lettura azimutale, l'angolo zenitale e la distanza inclinata, all'occorrenza posizionando sul punto un apposito prisma riflettore 360° montato su palina telescopica di altezza nota posizionata sui punti da rilevare in direzione verticale mediante livella sferica.

Inoltre è stata realizzata una linea di livellazione di alta precisione al fine di determinare con precisione sub-centimetrica la localizzazione dei piezometri (FIGURA 5) nei pressi dell'area oggetto di studio. Si è perciò utilizzato un autolivello elettronico modello NA 3003 di produzione Leica Geosystems con precisione nominale pari a 0.4 mm/km, una stadia graduata in fibra dotata di livella sferica per garantirne la verticalità durante la misura ed una piastra in ghisa con testa sferica per un corretto posizionamento della stadia nei punti intermedi (punti di passaggio).

La linea di livellazione percorsa è stata realizzata in modo da collegare tutti i punti di cui era necessario determinare la quota ortometrica con precisione sub-centimetrica ovvero il caposaldo di base (CS11) e tutti i piezometri della zona (R071, PZ2, PZ3, PZ5, PZ4, PZ1, PZ14, PZX, R74, R073, R033). La Figura 4 mostra il percorso seguito sovrapposto all'ortofoto 2009.

Al termine la linea di livellazione si è richiusa sul punto CS11 in modo da permettere un controllo sulle misure effettuate: è

stato determinato un errore di chiusura pari a 6.1 mm. Visto che il percorso è stato di 7352 m, è possibile determinare un errore di chiusura accettabile pari a circa 7.3 mm (1 mm/km). Le misure di livellazione risultano perfettamente accettabili garantendo una precisione relativa media nella definizione della quota dei piezometri e dei caposaldi livellati di circa 1-2 mm.



Figura 4. La linea di livellazione seguita sovrapposta all'ortofoto 2009

Il rilievo dei punti significativi al di fuori della zona di cava oggetto di studio è stato eseguito mediante il ricevitore geodetico GPS/GNSS doppia frequenza System 1200 di Leica Geosystems in modalità NRTK (Real Time Kinematic), utilizzando la correzione VRS fornita dalla rete di stazioni permanenti di Regione Piemonte (FIGURA 5b). La qualità attesa del posizionamento è tipicamente di 2-3 cm per la planimetria mentre di 2-4 cm per la componente altimetrica.



Figura 5. Piezometri rilevati tramite livellazione geometrica (altimetria) e misure GNSS (planimetria)

4. ANALISI DEI RISULTATI

L'elaborazione dei dati acquisiti nella campagna di rilievo permette di passare dalle misure alle coordinate definite in modo coerente con il sistema di riferimento definito secondo le normative vigenti.

4.1 La linea di livellazione

La rete di livellazione rilevata è composta da una semplice linea di livellazione chiusa. Il calcolo e la compensazione è stata svolta in modo empirico tenendo conto dello sviluppo dei vari tratti compresi tra i vertici della linea di livellazione. Il calcolo è stato svolto partendo dalla quota fittizia di 200.000 m assegnata al piezometro R071, come visibile in TABELLA 1. L'ultima

colonna a destra contiene le quote compensate secondo l'origine fittizia.

Nome	Q ril. [m]	L [m]	L progr. [m]	Q comp. [m]
R071	200.0000	-	-	200.0000
cs11	199.6676	-	0	199.6676
pz2	200.5446	450	450	200.5442
pz3	200.9071	500	950	200.9063
pz5	201.9210	650	1600	201.9197
pz4	202.9137	302	1902	202.9121
pz1	202.0411	600	2502	202.0390
pz14	202.6889	148	2650	202.6867
pzx	203.9945	590	3240	203.9918
r74	202.2237	962	4202	202.2202
r73	200.8016	621	4823	200.7976
r033	199.5033	1329	6152	199.4982
cs11	199.6737	1150	7302	199.6676
Errore di chiusura a (rilievo)	-0.0061		Errore di chiusura (compensaz.)	0.0000

Tabella 1. La compensazione empirica della linea di livellazione

Per trasformare le quote fittizie determinate con la livellazione nelle quote ortometriche finali, è stata determinata la media delle differenze tra i punti doppi ($m_{\square Q} = 61.7867 m$) rilevati con la tecnica GNSS-RTK e quelli mediante livellazione che in seguito è stata sommata a tutte le quote fittizie. Lo scarto quadratico medio delle differenze è pari a $\square_{\square Q} = 3.1 mm$; ciò permette di affermare che, anche in assoluto, la tolleranza con la quale sono state determinate le quote è ampiamente sufficiente per le applicazioni previste.

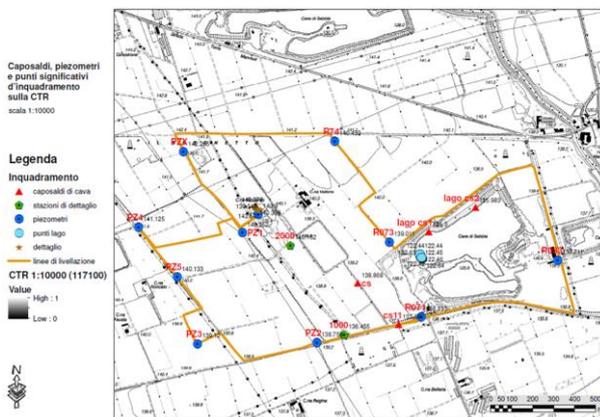


Figura 6. La rete di livellazione ed il rilievo dei piezometri

4.2 La rete di inquadramento

La rete di inquadramento/raffittimento realizzata mediante ricevitori GPS/GNSS è stata elaborata appoggiandosi alla rete di stazioni permanenti della Regione Piemonte (stazione NOVR di Novara) e ItalPoS (Italian Positioning Service) gestita da Leica Geosystem (stazione Pavia).

Le stazioni permanenti utilizzate sono riassunte in Figura 7.

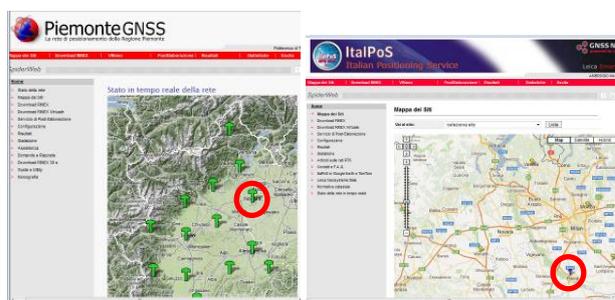


Figura 7. Le stazioni permanenti utilizzate

Di queste stazioni sono stati scaricati i file di acquisizione e sono state compensate le basi sui due vertici in zona cava (1000 e 2000) mediante il software Leica Geo Office (LGO) di produzione della ditta Leica Geosystems.

Dalla Tabella 2 è possibile notare che tutte le baseline sui vertici 1000 e 2000 risultano ad ambiguità fissata ad intero con indici di qualità millimetrici sia in planimetria che in quota.

Vertice	Vertice	tipo	Tempo	Mod.	Ambiguità	Tipo FIX	dX [m]	dY [m]	dZ [m]	Qual. Planim [m]	Qual. h [m]
NOVR	2000	GPS	49' 46"	Static	Phase: fix all	L1/E1+L2	-2501.0551	11208.4491	718.3051	0.0002	0.0003
PAVI	2000	GPS	49' 40"	Static	Phase: fix all	Iono free (L3)	-15203.4809	-32210.5154	19855.8183	0.0006	0.0008
NOVR	1000	GPS	46' 18"	Static	Phase: fix all	L1/E1+L2	-2241.7173	11508.0659	415.8532	0.0002	0.0002
PAVI	1000	GPS	46' 15"	Static	Phase: fix all	Iono free (L3)	-14944.0823	-31910.9152	19553.3711	0.0008	0.001

Tabella 2. Riassunto delle soluzioni delle baseline rilevate

Le baseline sono state in seguito compensate vincolando le stazioni permanenti NOVR e PAVI secondo lo schema contenuto in **FIGURA 8. LA RETE GPS/GNSS COMPENSATA CON LE BASI DETERMINATE (A) E GLI ELLISSI D'ERRORE (B)**. Tale figura (b) riporta un

ingrandimento della rete d'inquadramento/raffittimento in corrispondenza della zona di cava con la rappresentazione degli ellissi d'errore (95%). Come si può notare:

- in planimetria gli ellissi d'errore (95%) hanno semiassi massimi di circa 8 mm e minimi di circa 6

mm. Le precisioni sono pertanto sub-centimetriche e uniformi nelle 2 direzioni planimetriche X e Y;

- in altimetria, la precisione (95%) è sempre migliore di 15 mm, garantendo le precisioni previste.

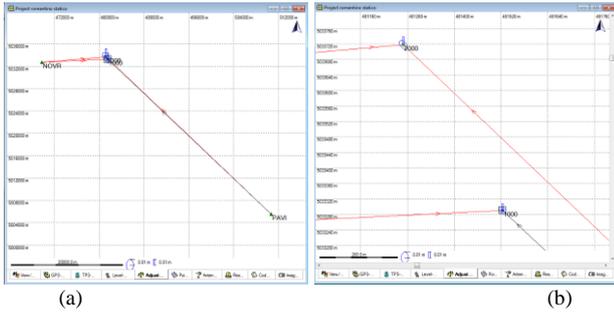


Figura 8. La rete GPS/GNSS compensata con le basi determinate (a) e gli ellissi d'errore (b)

Le altezze ellissoidiche sono state in seguito convertite in quote ortometriche utilizzando il software Cartlab3, fornendo in input le coordinate dei punti da convertire ed i grigliati (Avventi estensione .GK2) distribuiti dall'Istituto Geografico Militare contenenti i valori di ondulazione del geoido (modello ITALGEO05).

4.3 Le variazioni multi-temporali dei volumi di cava

Al fine di poter analizzare le variazioni multi-temporali dei volumi di cava, è stato necessario riportare tutti i dati acquisiti

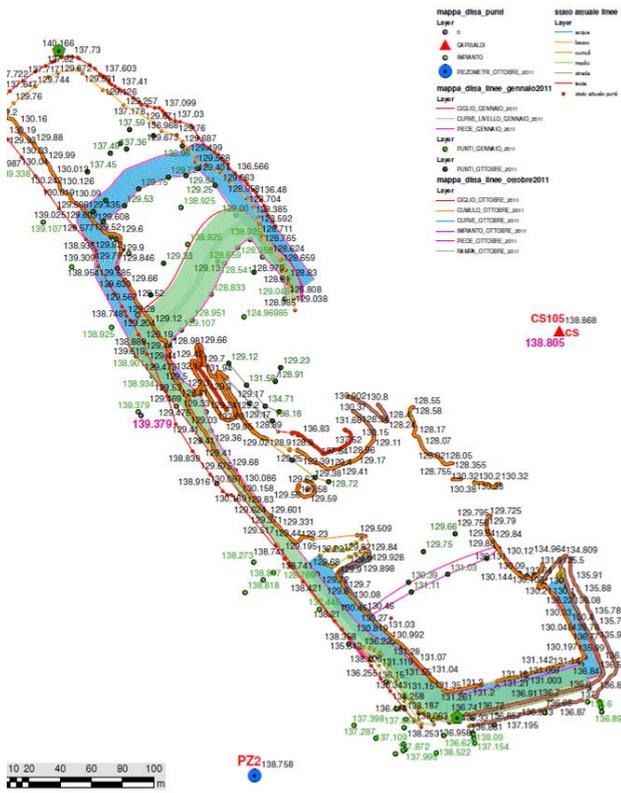


Figura 9. Variazione del piano di coltivazione di cava (sinistra) e sua sovrapposizione con ortofoto (a destra)

Dalla FIGURA 9 a destra è possibile avere un'immediata analisi qualitativa della variazione dei volumi di cava, anche sovrapponendo tali informazioni a cartografie (o ortofoto) che

in campagna o ottenuti da rilievi o cartografie precedenti in un unico sistema di riferimento, tramite trasformazione rigorosa ed ufficiale. Il sistema di riferimento scelto, come già detto in precedenza, è il sistema ETRF2000 (2008.0), unico sistema di riferimento ufficiale ad oggi in Italia.

Al fine di avere una migliore e più intuitiva interpretazione delle variazioni in oggetto, si è deciso di inserire tutta la documentazione disponibile e tutti i dati raccolti in un software GIS: ciò ha permesso di evidenziare le variazioni tridimensionali delle superfici di cava e di conseguenza i volumi cavati e le quote di fondo scavo.

Si è potuto perciò definire sia la variazione della geometria della cava (rappresentata dalla linea rossa in FIGURA 9 a sinistra) sia la variazione volumetrica di materiale cavato (in blu nella FIGURA 9 a destra). Infatti è possibile notare come, analizzando la FIGURA 9 sinistra, si noti come si sia espansa planimetricamente la cava: la situazione originaria è rappresentata dall'area colorata in verde, per poi passare all'area blu ed infine arrivare al contorno attuale rappresentato dalle linee rosse più esterne al disegno. Tale analisi è stata svolta anche dal punto di vista volumetrico creando una rappresentazione 3D, sempre tramite software GIS, che non viene riportata in questa sede in quanto di difficile interpretazione.

permettano una migliore interpretazione dell'area oggetto di studio.

5. LA VERIFICA DEI DATI DISPONIBILI E LA LORO GEOREFERENZIAZIONE

La verifica degli elaborati grafici si può svolgere, in mancanza di altre informazioni, solamente mediante comparazione con osservazioni di precisione nota e controllata, considerando le posizioni di un insieme di punti aventi precisione centimetrica (2-5 cm) sia in planimetria che in altimetria.

Una parte di questi punti sono localizzati nelle zone che si sono mantenute inalterate negli ultimi 2 anni e alcuni sono legati a dettagli particolarmente stabili quali caposaldi, piezometri, spigoli di edifici, spigoli di recinzione, ecc. Questo insieme di dettagli stabili è stato individuato anche sugli elaborati grafici definendo:

- per la parte planimetrica una trasformazione piana corrispondente a una rototraslazione piana con variazione isotropa di scala che permetta di georeferenziare gli elaborati grafici;
- per la parte altimetrica una semplice traslazione definita come media delle differenze in quota riscontrate tra le quote estratte dagli elaborati e le corrispondenti quote rilevate.

Gli scarti residui di queste operazioni permettono di analizzare la bontà degli elaborati grafici.

5.1 Gli elaborati del Corpo Forestale dello Stato (maggio 2011)

Il Corpo Forestale dello Stato ha messo a disposizione i seguenti dati:

- un elaborato grafico sotto forma di file in formato DXF in cui sono contenuti solamente una parte dei punti rilevati. Il sistema di coordinate è un sistema locale, probabilmente legato alla stazione totale utilizzata: infatti le coordinate della stazione P100 sono (x=0.0m, y=0.0m, z=0.0m). Nel rilievo è inserito anche il caposaldo CS11 indicato con il nome D101;
- un ulteriore elaborato grafico sotto forma di file in formato DXF simile al precedente recante una traslazione in quota per ottenere quote corrette probabilmente ricavata dalla quota del caposaldo CS11: infatti le coordinate della stazione P100 sono (x=0.0m, y=0.0m, z=138.60m);
- un elaborato grafico in forma stampata denominato "schema del rilievo" contenente i punti rilevati collegati in aree (laghetti, cumuli, ecc.) anche alcuni punti non contenuti nei file precedenti descritti in a) e b). La legenda reca l'indicazione della scala di rappresentazione: 1:1500;
- un elaborato grafico in forma cartacea denominato "Rapporto del rilievo su stralcio di planimetria di progetto" contenente i punti rilevati collegati in aree (laghetti, cumuli, ecc.); inoltre tale file riporta anche alcuni punti su una base cartografica derivata da un elaborato di progetto di coltivazione che però non sono contenuti negli elaborati descritti in a) e b). La legenda reca l'indicazione della scala di rappresentazione 1:1500. Questo elaborato è stato acquisito in formato digitale mediante scanner cartografico alla risoluzione di 400 dpi;
- un insieme di file contenenti le misure effettuate in vari formati.

L'indicazione della scala (per altro non convenzionale) pari a 1:1500 comporta una precisione dichiarata di 30 cm e una tolleranza di 60 cm.

5.1.1 La verifica metrica del contenuto planimetrico

I primi tre elaborati (segnati con le lettere a) e b) c) nell'elenco puntato precedente) contengono solamente un punto noto nel sistema di riferimento prescelto (ETRF2000) e, quindi, non sono direttamente posizionabili in modo corretto. Un discorso simile vale per i libretti di campagna (punto e) dell'elenco) che contenendo il solo caposaldo CS11 non possono essere utilizzati per le verifiche non essendo presenti né sufficienti informazioni per la georeferenziazione, né misure ridondanti che ne consentirebbero una valutazione di qualità e affidabilità.

Per la verifica è stato utilizzato l'elaborato d) che, contenendo una base cartografica, permette di impostare una operazione di georeferenziazione. E' anche qui presente l'unico caposaldo CS11, ma è possibile individuare punti comuni tra la base cartografica e l'ortofoto del 2009. E' stata stimata una trasformazione piana di tipo conforme (rototraslazione con variazione isotropa di scala) i cui parametri (5) sono stati stimati mediante 5 punti (10 equazioni) ottenendo i residui (v) indicati in **TABELLA 1**.

Punto	x	y	E [m]	N [m]	V [m]
CS11	-16.81	363.88	481784.54	5033337.92	0.28
1	215.46	18.62	481522.16	5033638.77	0.32
2	85.19	130.93	481528.11	5033327.76	0.36
3	-51.99	-78.37	481375.78	5033525.59	0.49
4	85.66	131.07	481528.11	5033327.76	0.30

Tabella 3. Risultati della georeferenziazione dell'elaborato CFS maggio 2011

Il massimo scarto è pari a 49 cm e pertanto inferiore alla tolleranza dell'elaborato (60 cm): ne consegue che:

- i dati contenuti nella base cartografica dell'elaborato d) sono coerenti, in termini di precisione e accuratezza, con la scala dichiarata (1:1500);
- la georeferenziazione dell'elaborato d) è efficace e permette di estrarre informazioni con precisioni e accuratezza coerenti con la scala dichiarata 1:1500 e quindi anche accettabili per la scala nominale 1:2000.

5.1.2 Generazione degli shapefile

L'immagine georeferenziata è stata quindi digitalizzata e da essa sono stati ricavati 3 file contenenti i punti descrittivi dei dettagli evidenziati dal CFS. La sovrapposizione con il rilievo attuale e con l'ortofoto del 2009 ha denunciato un evidente errore grossolano nel posizionamento dei punti e dei dettagli rilevati dal CFS: infatti, alcuni laghetti indicati risultano sovrapposti con alcuni impianti di cava ancora oggi presenti, come si può notare in **FIGURA 10** (cerchio rosso).

Il rilievo della Provincia di Novara di ottobre 2011, gli elaborati progettuali della ditta di gennaio 2011 e ottobre 2011 e lo stato attuale, come indicato nel seguito, sono tra loro sostanzialmente coerenti nell'indicare la posizione della scarpa orientale dello scavo di cava: la stazione P100 risulta posizionata a una quota non coerente con gli altri dati disponibili (cerchio arancione in **FIGURA 10** e in **FIGURA 11**).

Si può quindi affermare che i dati del rilievo del CFS di maggio 2011 sono stati posizionati sull'elaborato di progetto di cava in modo non corretto.

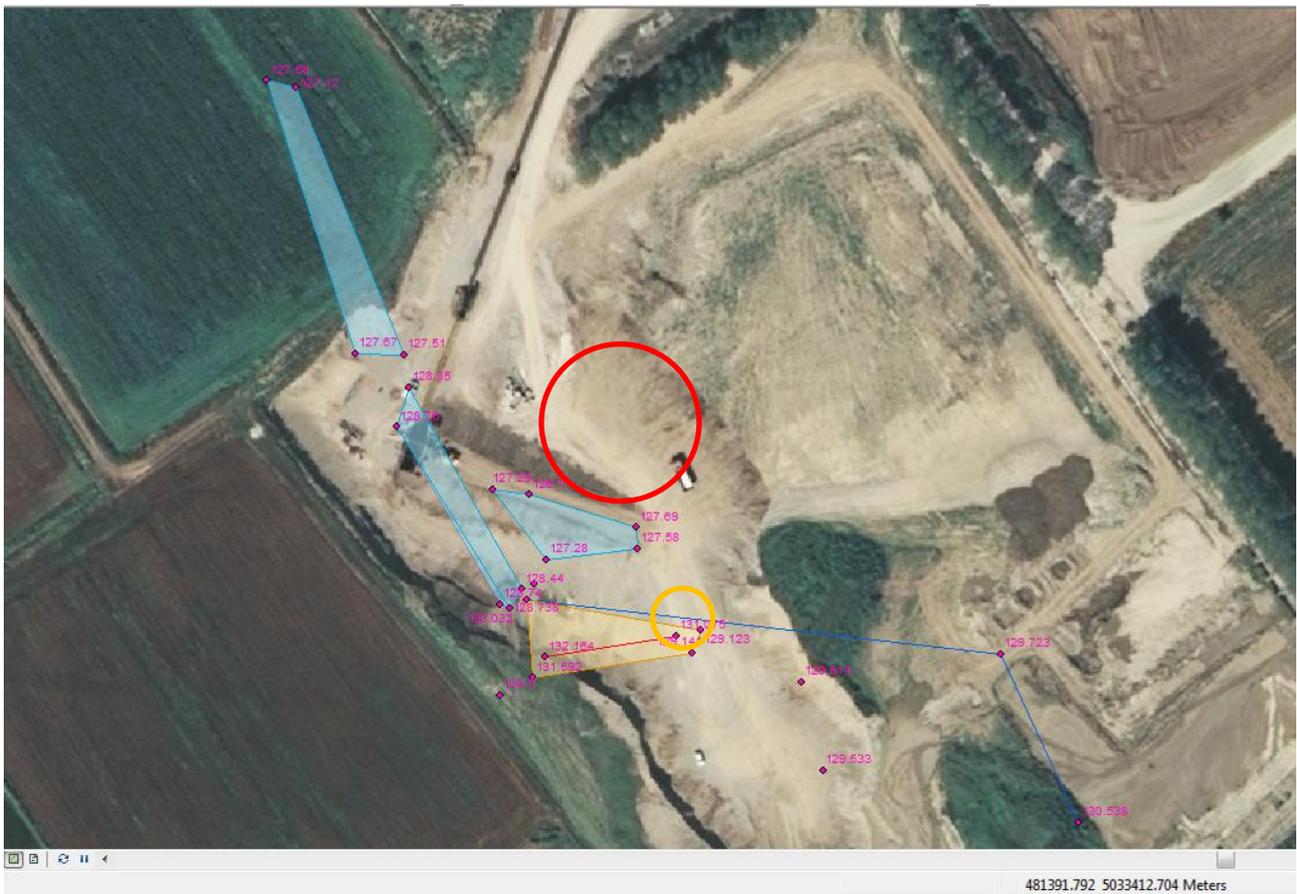


Figura 10. Sovrapposizione tra il rilievo CFS maggio 2011 e l'ortofoto 2009

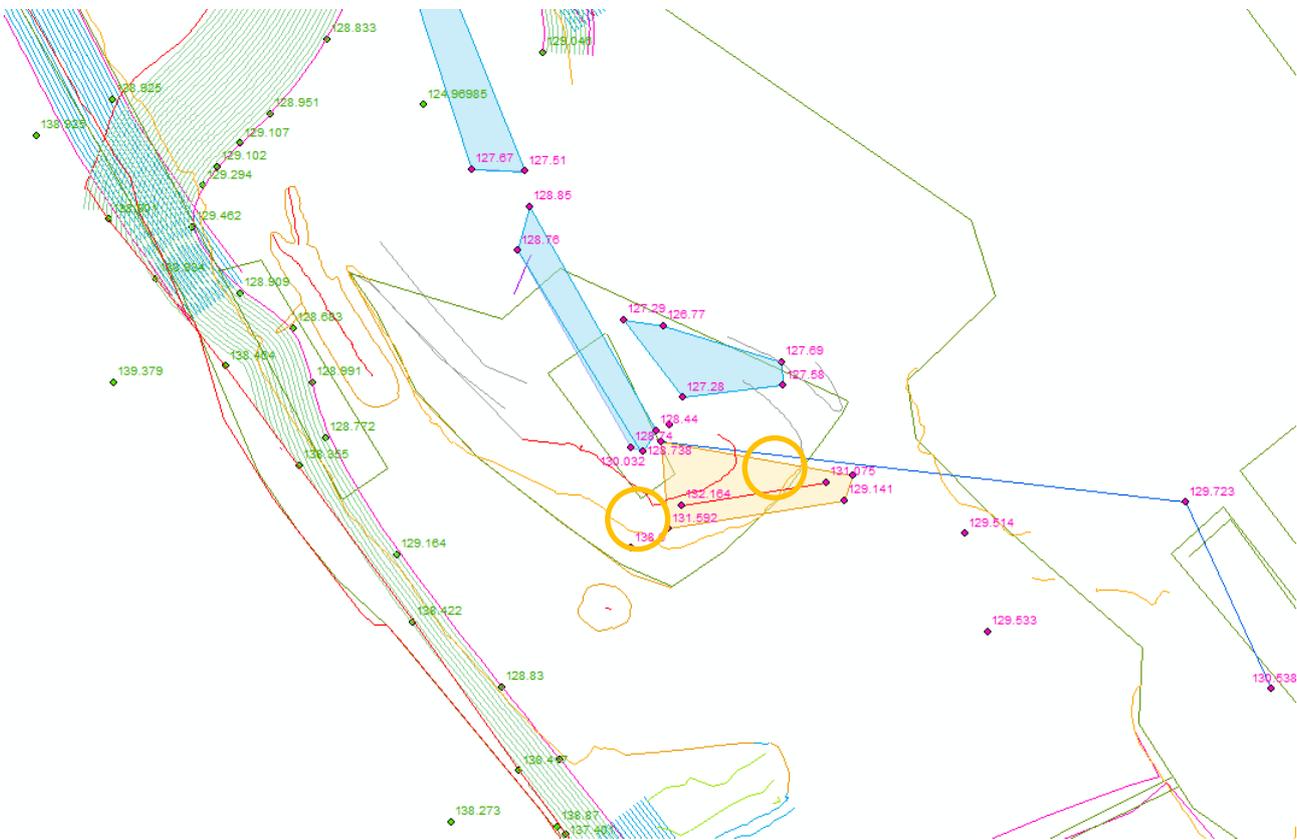


Figura 11. Sovrapposizione tra il rilievo CFS maggio 2011 e gli alti dati disponibili



Figura 12. Sovrapposizione tra il rilievo CFS maggio 2011 ruotato e gli alti dati disponibili

Analizzando le analogie con gli altri dati disponibili e in seguito a contatto telefonico con l'esecutore del rilievo, è stato compreso l'errore di posizionamento del rilievo: la posizione del caposaldo CS11 è certa, la stazione P100 è stata posizionata molto vicino al bordo alto dello scavo di cava. Pertanto i 3 shapefile sono stati ruotati rispetto al CS11 fino a posizionare la stazione P100 nelle immediate vicinanze del bordo alto dello scavo di cava ottenendo una nuova versione (ruotata) dei dati relativi al rilievo di maggio 2011.

Come si nota nella **FIGURA 12**, la posizione della stazione P100 è ora coerente con le quote derivate dagli altri elaborati e i laghetti non risultano più sovrapposti con gli impianti di cava, anzi sono in parte sovrapposti con un laghetto ancora presente nell'ottobre 2011 (rilievo provincia di Novara).

Chiaramente la qualità metrica risulta molto peggiorata e poco sicura per quanto riguarda la planimetria, ma il contenuto informativo risulta ora interamente e correttamente recuperato. Viste le modalità con cui sono state svolte le operazioni di correzione, è ipotizzabile che per quanto riguarda la planimetria, il rilievo soddisfi:

- in termini relativi, ovvero nella valutazione di distanze, angoli, aree e volumi tra punti appartenenti al rilievo stesso, la scala di rappresentazione 1:2000;
- in termini assoluti, ovvero nella lettura della posizione assoluta (georeferenziata) dei punti, la scala di rappresentazione 1:2000.

5.1.3 La verifica metrica del contenuto altimetrico

La verifica altimetrica è stata svolta in base ai 2 punti sicuramente coincidenti a due punti di rilievo dello stato attuale. Come visibile in Tabella 4, le differenze massime in quota sono pari a 12 cm, ovvero abbondantemente inferiori alle tolleranze cartografiche per una scala 1:1500 (60 cm).

nome	Q _{CFS} [m]	Q _{attuale} [m]	ΔQ [m]
CS11	137.88	137.86	0.02
P100	138.60	138.478	0.12

Tabella 4. Verifiche altimetriche dell'elaborato CFS maggio 2011

Per quanto possibile verificare, anche la parte altimetrica di questo elaborato risultata coerente con la scala dichiarata e quindi corretto in termini scientifici.

5.2 Gli elaborati della Provincia del novembre 2011

Il documento fornito (file elettronico con estensione DWG) contiene:

- il rilievo realizzato nel novembre 2011 dalla Provincia di Novara sovrapposto ad una base cartografica catastale;
- la base cartografica catastale ruotata e traslata rispetto al sistema di rappresentazione Cassini-Soldner in modo non controllato e quindi non ricollocabile correttamente senza specifiche operazioni di georeferenziazione.

5.2.1 La verifica metrica del contenuto planimetrico

Per la verifica è stato utilizzato l'intero elaborato che comprende anche la base cartografica e permette di impostare una operazione di georeferenziazione in modo corretto. Sono presenti 3 vertici comuni con il rilievo dello stato attuale (pz14, r74 e r73); nonostante non siano contenuti i caposaldi di cava, è comunque possibile individuare altri punti comuni tra la base cartografica e l'ortofoto 2009.

E' stata stimata una trasformazione piana di tipo conforme (rototraslazione con variazione isotropa di scala) i cui parametri (5) sono stati stimati mediante 5 punti (10 equazioni) ottenendo i residui indicati in **TABELLA 5**.

Il massimo scarto è pari a 1.31 m e pertanto superiore alle tolleranze dell'elaborato (80 cm); ne consegue quindi che:

- i dati contenuti nella base cartografica dell'elaborato non sono coerenti, in termini di precisione e accuratezza, con la scala dichiarata (1:2000);

- la posizione assoluta del rilievo non analizzato garantisce le tolleranze di una cartografia in scala 1:5000 e quindi con precisione 1 m e tolleranza 2 m;
- le informazioni relative essendo eseguite con stazione totale e tecniche topografiche corrette garantiscono le precisioni relative di una cartografia in scala 1:2000;
- il contenuto informativo non risulta inficiato da queste affermazioni, ovvero i dettagli indicati possono essere spostati rispetto alla loro posizione assoluta di quantità pari a 2 m al massimo.

Punto	x	y	E [m]	N [m]	V [m]
13	481464.4133	5034224.237	481463.29	5034228.54	1.21
11	481732.3719	5033338.308	481741.87	5033336.49	1.31
10	481416.7873	5033262.824	481424.84	5033255.70	1.23
9	481121.8861	5033884.229	481121.89	5033884.23	1.12
3	481367.1675	5033918.091	481367.17	5033918.09	0.55

Tabella 5. Risultati della georeferenziazione dell'elaborato della Provincia di Novara del novembre 2011

5.2.2 La verifica metrica del contenuto altimetrico

La verifica altimetrica è stata svolta in base ai 3 punti sicuramente coincidenti a tre punti di rilievo dello stato attuale. Come visibile in Tabella 6, le differenze massime in quota sono pari a 2.64 m, ovvero abbondantemente superiori alle tolleranze cartografiche per una scala 1:2000 (80 cm).

Nome	Q _{PR.NO} [m]	Q _{attuale} [m]	ΔQ [m]
pz14	138.26	140.90	-2.64
r74	138.4	140.43	-2.03
r73	136.58	139.01	-2.43
Media			-2.37
Sqm			0.10

Tabella 6. Verifiche altimetriche dell'elaborato della Provincia di Novara di novembre 2011

Si può notare che queste differenze presentano un chiaro sistematismo evidenziato dalla media delle differenze (-2.37 m) a cui è associato uno sqm abbastanza piccolo pari a 0.10 m che permette di affermare che la media è sicuramente significativa. Tutte le quote indicate nell'elaborato sono state corrette da questo sistematismo sommandovi il valore 2.37 m. Il risultato sono nuovi elaborati traslati in quota che, per quanto possibile verificare, ora risultano coerenti con la scala dichiarata e quindi corretti in termini scientifici.

5.3 Gli elaborati di progetto della ditta gestore della cava

La Ditta in causa ha fornito i seguenti elaborati:

- h) un elaborato grafico sotto forma di file in formato DWG in cui sono contenuti, all'interno del modello, due rappresentazioni cartografiche sostanzialmente identiche. Per il presente lavoro è stata utilizzata una sola elaborazione contenente:
 - o una base cartografica catastale che ha subito modifiche non note in traslazione e, forse, scala e rotazione;
 - o lo stato della cava nel gennaio 2011 coerente con la base cartografica;
 - o lo stato della cava nell'ottobre 2011 coerente con la base cartografica.

A causa delle modifiche citate in precedenza si è resa necessaria un'ulteriore azione di georeferenziazione per trasformare i dati nel sistema cartografico prescelto per questo lavoro;

- i) una relazione descrittiva del progetto.

L'indicazione della scala per l'elaborato più grande è pari a 1:500 e comporta una precisione dichiarata di 10 cm e una tolleranza di 20 cm.

5.3.1 La verifica metrica del contenuto planimetrico

Il file grafico h) contiene 4 punti rilevati direttamente (PZ14, CS, PZ1, CS11) nel sistema di riferimento ERTF2000 e, quindi, è direttamente utilizzabile per le operazioni di georeferenziazione.

Allo scopo è stata stimata una trasformazione piana di tipo conforme (rototraslazione con variazione isotropa di scala) i cui parametri (5) sono stati stimati mediante 4 punti (8 equazioni) ottenendo i residui indicati in Tabella 7.

Punto	x	y	E [m]	N [m]	V [m]
PZ14	-259.123	539.445	481115.17	5033866.27	0.26
CS105	212.098	205.176	481589.60	5033537.86	0.07
PZ1	-334.990	451.812	481040.24	5033778.37	0.23
CS11	404.915	3.024	481784.48	5033337.92	0.04

Tabella 7. Risultati della georeferenziazione dell'elaborato della ditta

Il massimo scarto è pari a 26 cm e pertanto lievemente superiore alla tolleranza dell'elaborato (20 cm): ne consegue che:

- i dati contenuti nella base cartografica dell'elaborato non sono coerenti, in termini di precisione e accuratezza, con la scala dichiarata (1:500);

la georeferenziazione dell'elaborato h) è efficace e permette di estrarre informazioni con precisioni e accuratezza coerenti con la scala nominale 1:1000 (tolleranza 40 cm) e quindi anche accettabili per la scala nominale 1:2000, scelta come scala di riferimento.

5.3.2 La verifica metrica del contenuto altimetrico

La verifica altimetrica è stata svolta in base ai 4 punti sicuramente coincidenti a 4 punti di rilievo dello stato attuale. Come visibile in Tabella 8, le differenze massime in quota sono pari a 1.39 m, ovvero abbondantemente superiori alle tolleranze cartografiche per una scala 1:2000 (80 cm).

Nome	Q _{PR.NO} [m]	Q _{attuale} [m]	ΔQ [m]
PZ14	139.51	140.90	-1.39
CS105	138.81	138.87	-0.06
PZ1	139.90	140.25	-0.35
CS11	137.85	137.88	-0.03
Media			-0.46
Sqm			0.21

Tabella 8. Verifiche altimetriche dell'elaborato della ditta

Si può notare che queste differenze denunciano la presenza di errori grossolani in corrispondenza dei 2 piezometri (PZ14, PZ1) mentre sono sostanzialmente trascurabili in corrispondenza dei caposaldi (CS105, CS11).

Ipotizzando che le quote dei piezometri siano misurate a terra e non in testa piezometro, è possibile correggerle dell'altezza del piezometro fuori-terra (1.30 m per PZ14, 0.30 per PZ1) ottenendo i valori indicati in Tabella 9. Le differenze massime in quota sono pari a 6 cm, ovvero inferiori alle tolleranze altimetriche per una cartografia in scala 1:500 (10 cm).

nome	Q _{PR.NO} [m]	Q _{attuale} [m]	ΔQ [m]
pz14	140.81	140.90	-0.09
cs105	138.81	138.87	-0.06
PZ1	140.20	140.25	-0.05
cs11	137.847	137.88	-0.03
Media			-0.06
Sqm			0.01

Tabella 9. Verifiche altimetriche con quote dei piezometri corrette

Per quanto possibile verificare, anche la parte altimetrica di questo elaborato risultata coerente con la scala dichiarata e quindi corretto in termini scientifici.

6. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Il presente lavoro ha mostrato come l'integrazione di tecniche geomatiche possa essere di supporto a decisioni di tipo giuridico, anche in ambito penale. Come si può notare dalle considerazioni dei capitoli precedenti molti enti, siano essi territoriali, di verifica o studi tecnici di progettazione mostrano una grande ignoranza sui sistemi di riferimento geodetici e sui relativi sistemi di rappresentazione cartografica.

Questo problema non sarebbe così importante se l'oggetto delle varie attività fosse differente, ma chi opera sul territorio deve essere a conoscenza delle modalità in cui viene rappresentato per poterlo leggere e interpretare nel modo più corretto possibile. Come già citato in precedenza, il D.P.C.M. 10 novembre 2011 definisce che il sistema di riferimento ufficiale in Italia legato alla Rete Dinamica Nazionale è il sistema ETRF2000(2008.0) con eventuale rappresentazione cartografica UTM e ad esso si devono riferire tutte le attività che hanno a che fare con il territorio.

Al giorno d'oggi, non è ammissibile che gli elaborati di progetto di una coltivazione di cava siano prodotti senza una definizione chiara del sistema di riferimento geodetico e senza il legame al sistema di riferimento nazionale. E' altresì poco sostenibile il fatto che gli elaborati di un ente territoriale o di verifica siano definiti in un sistema locale malamente georeferenziato su una carta catastale modificata (ruotata e scalata) e per di più con errori grossolani derivanti dall'utilizzo non corretto dei sistemi di rappresentazione.

Infine, la pratica topografica deve essere svolta da personale appositamente formato ed esperto che sappia quello che sta facendo senza improvvisazione, che acquisisca informazioni e misure secondo schemi ridondanti e affidabili in modo da poter controllare la correttezza del proprio rilievo.

7. BIBLIOGRAFIA

Altamimi Z., Collilieux X., Métivier L., ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame, *Journal of Geodesy*, open access on-line, <http://dx.doi.org/10.1007/s00190-011-0444-4>, 2010

Baroni L., Cauli F., Donatelli D., Farolfi G., Maseroli R. (2010). La Rete Dinamica Nazionale (RDN) Ed Il Nuovo Sistema Di Riferimento ETRF2000. Disponibile al link: http://it.smartnet-eu.com/files/rdn_e_il_nuovo_sistema_di_riferimento_ertf2000.pdf

Brovelli M., Crespi M., Cilloccu F., Dequal S., Lingua A.M. (2009). *Ortoimmagini 1:10000 e modelli altimetrici - Linee guida*. CISIS, ROMA, pp. 1-68. ISBN 9788885386976

Cina A., Manzano A.M., Piras M., Porporato C., Garretti L., Siletto G.B., Celestino Ferrante F., Caione S., Pipino M. (2012). *La trasformazione di mappe catastali in Regione Piemonte nel sistema ETRF2000*. In: Bollettino Della Società Italiana Di Fotogrammetria E Topografia, vol. 1 n. 1, pp. 9-18. - ISSN 1721-971X

Cina A., Dabove P., De Agostino M., Manzano A., Piras M., Porporato C., Garretti L., Siletto G., Caligaris A., Chiapale L., Pipino M. (2011). *La rete GNSS della Regione Piemonte: analisi sulle applicazioni e sulle precisioni raggiungibili*. In: Applicazioni interdisciplinari della Geomatica: ricerca,

formazione e professione, Portonovo (Ancona), 22-24 Giugno 2011

Dabove P., De Agostino M., Manzano A. (2012). *Achievable positioning accuracies in a network of GNSS reference stations*. In: Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications / Jin S.G. InTech, pp. 189-214. ISBN 9789533078434

De Agostino M., Manzano A. (2011). *Validazione dei servizi della rete GNSS della Regione Piemonte*. In: Bollettino Della Società Italiana Di Fotogrammetria E Topografia, vol. 1, pp. 11-33. - ISSN 1721-971X

Decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 10 novembre 2011: "Adozione del Sistema di riferimento

geodetico nazionale" - Sistema di riferimento geodetico nazionale. Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27 febbraio 2012.

Manzano A.M., Dabove P., De Agostino M. (2012). *L'uso di stazioni GNSS a grande interdistanza per scopi di media precisione*. In: Bollettino Della Società Italiana Di Fotogrammetria E Topografia, vol. 2 n. 1, pp. 35-53. - ISSN 1721-971X

Siti Internet

<http://antartica60.wordpress.com/2007/01/29/netdownload-help/>

http://epncb.oma.be/_documentation/guidelines/
www.igmi.org

<http://gnss.regione.piemonte.it/frmIndex.aspx>