



Metodologie per la valutazione puntuale del rischio idrogeologico in aree fortemente antropizzate e strumenti per le strategie di sviluppo regionale



Unione europea
Fondo sociale europeo



UniorPress



**METODOLOGIE PER LA VALUTAZIONE
PUNTUALE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO
IN AREE FORTEMENTE ANTROPIZZATE E
STRUMENTI PER LE STRATEGIE DI SVILUPPO
REGIONALE**

**APPLICAZIONE AL CASO STUDIO DEL
“CORRIDOIO INFRASTRUTTURALE STRATEGICO” (CIS)
DI LIVELLO REGIONALE: TRATTO AUTOSTRADALE
SALERNO-CAVA DE’ TIRRENI – A3 NAPOLI – SALERNO
E DELLE ALTRE INFRASTRUTTURE VIARIE A VALLE
DELLO STESSO**



UniorPress
Napoli 2021

UniorPress

Via Nuova Marina 59, 80133 Napoli



This work is licensed under a Creative Commons
Attribution 4.0 International License

Questo volume è disponibile in accesso aperto al sito:
<http://www.fedoabooks.unina.it/index.php/fedoapress>

ISBN 978-88-6719-251-9

Indice

Prefazione	15
Premesse istituzionali	17
Introduzione	19

Metodologie di integrazione e ottimizzazione delle basi topografiche

1. Introduzione	25
2. Trasformazione e omogeneizzazione dei Sistemi di Riferimento	26
3. Integrazione del DBT con il LiDAR	28
4. Generazione del Modello Digitale del Terreno (DTM)	30
5. Ottimizzazione di generazione delle curve di livello	32
6. Predisposizione delle Basi Topografiche 3D	34
7. Conclusioni	34
Riferimenti bibliografici	35

Metodologie per i rilievi della rete di infrastrutture con tecniche di telerilevamento attivo e passivo

1. DEM su area vasta da immagini satellitari ad altissima risoluzione (HRSI)	37
2. Area di Approfondimento del Vallone e del Viadotto Olivieri	41
3. Modello BIM del Vallone e del Viadotto Olivieri	43
4. Area di Approfondimento del Monte San Liberatore	45
5. Conclusioni	47
Riferimenti bibliografici	48

Metodologie geologiche

1. Introduzione	49
2. Inquadramento geologico	51

3. Rilevamento geologico	51
<i>Substrato mesozoico</i>	52
<i>Depositi di copertura</i>	56
4. Assetto tettonico	56
Riferimenti bibliografici e sitografici	58

Metodologie idrogeologiche

1. Introduzione	59
2. Conoscenze idrogeologiche pregresse	59
3. Dati e metodi	60
4. Complessi idrogeologici	61
5. Modello idrogeologico concettuale	63
6. Interferenze tra circolazione idrica e opere in sottterraneo	64

Metodologie di cartografia geomorfologica

1. Introduzione	67
2. Il Sistema Informativo Geomorfologico dell'Università di Salerno (GmIS_UNISA 2009- 2012)	69
3. Aggiornamento della Legenda Geomorfologica Nazionale (2014-2018) e nuove Linee Guida (ISPRA, 2018)	72
4. Limiti delle cartografie tradizionali	73
5. Metodologie di Cartografia " <i>object-oriented</i> "	76
6. Metodologie geomorfometriche e geomorfiche	78
7. Oggettivazione geomorfometrica su forme campioni	82
Riferimenti bibliografici e sitografici	85
8. Classificazione " <i>object-oriented</i> " delle frane	88

Metodologie geo-applicative per la valutazione della suscettibilità da frana (crolli)

1. Suscettibilità da frane in roccia in area vasta	91
<i>Caratterizzazione degli ammassi rocciosi</i>	91
<i>Analisi della suscettibilità</i>	92

2. Suscettibilità da frana in roccia nel sito campione di M. San Liberatore	94
<i>Caratterizzazione dell'ammasso roccioso</i>	95
<i>Analisi con Rotomap GIS</i>	96
<i>Analisi con Rockyfor3D</i>	98
Riferimenti bibliografici e sitografici	100

Metodologie geo-applicative per la definizione della suscettibilità da frana nelle coltri piroclastiche campane

1. Fattori geologici predisponenti la franosità delle coltri piroclastiche	103
2. Criteri per la definizione puntuale della suscettibilità all'innesco, transito e deposito	106
3. I modelli dinamici per la modellazione della propagazione delle frane per flusso	108
4. Criteri per la modellazione dinamica delle frane da flusso	111
5. Applicazione nel bacino del Vallone Olivieri	112
6. Conclusioni	114
Riferimenti bibliografici	116

Verifiche di stabilità dei pendii con coltri di terreno piroclastico

1. Introduzione	121
2. Caratterizzazione geotecnica della coltre di terreno piroclastico	121
3. Analisi di stabilità della coltre di terreno piroclastico	125
4. Pericolosità all'innesco di frane pluvio-indotte	126
Riferimenti bibliografici	131

Metodologie idrologiche e idrauliche per studi di dettaglio

1. Introduzione	133
2. Caratterizzazione idrologica e idraulica dei bacini	136
3. Modellazione idrologica pluriennale	139

4. Modellazione idrologica della risposta durante eventi di precipitazione estremi	142
<i>Idrogrammi di piena</i>	142
<i>Idrogrammi delle portate solide</i>	147
5. Modellazione idraulica	148
<i>Considerazioni preliminari</i>	148
<i>Dimensionalità del modello di calcolo</i>	149
<i>Valutazione della scabrezza</i>	150
<i>Rappresentazione dei risultati dei calcoli</i>	151
<i>Modellazione della propagazione di colate di fango</i>	151
6. Conclusioni	154
Riferimenti bibliografici	154

Metodologie di studio della composizione floristica e vegetazionale

1. Studi floristici	157
2. Valutazione della capacità di copertura del suolo e del possibile sviluppo radicale delle specie vegetali locali	163
Riferimenti bibliografici e sitografici	168

Le linee guida per la zonazione della suscettibilità, pericolosità e rischio da frana ai fini della pianificazione territoriale

1. Introduzione	171
2. Definizioni	172
3. Processo di gestione del rischio da frana	173
4. Descrizione della zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana per la pianificazione territoriale	175
5. Scelta del tipo e del livello di zonazione	175
6. Scale di zonazione e descrittori per la zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana	178
7. Metodi per la zonazione finalizzata alla pianificazione territoriale	182

8. Affidabilità della zonazione ai fini di pianificazione territoriale	191
Riferimenti bibliografici	192

**Valutazione della forza di impatto su gallerie paramassi:
il modello EFIM**

1. Introduzione	193
2. Breve riesame e valutazione dei modelli esistenti	195
<i>Premessa</i>	195
<i>Metodo giapponese (JRA)</i>	196
<i>Le linee guide svizzere ASTRA (2008)</i>	198
<i>Formula di Labiouse et al.</i>	199
<i>Metodo di Siming et al. (2008) calibrazione Wang et al. (2020)</i>	200
<i>Metodo di Calvetti e Di Prisco</i>	203
3. Motivazioni per un nuovo modello di impatto	204
4. Il modello EFIM	205
<i>Approccio energetico</i>	205
<i>Il modello di fondazione equivalente (EFIM)</i>	207
<i>Influenza della geometria del blocco di roccia</i>	210
5. Confronto con le prove sperimentali disponibili	210
6. Sintesi dei risultati e discussione	211
Riferimenti bibliografici e sitografici	213

**Metodologie per la valutazione della risposta dinamica
di gallerie paramassi: il caso studio della galleria
San Liberatore sulla A3**

1. Introduzione	217
2. Metodologia per la valutazione delle azioni dovute all'impatto	218
3. Caso studio	222
<i>Modello agli elementi finiti</i>	224
<i>Verifiche allo Stato Limite Ultimo</i>	226
4. Considerazioni conclusive	230
Riferimenti bibliografici e sitografici	231

Metodologia per la valutazione della vulnerabilità delle opere d'arte autostradali: caso studio viadotto Olivieri

1. Aspetti metodologici	233
2. Descrizione del sito	236
3. Aspetti geologici e geomorfologici	236
4. Classificazione del viadotto	238
5. Descrizione dello stato di fatto	239
6. Analisi del progetto originario	242
7. Caratterizzazione meccanica dei materiali	243
8. Modello meccanico	244
<i>Modello piano 2D</i>	245
<i>Modello tridimensionale 3D</i>	248
9. Descrizione dei risultati principali	250
10. Curve di fragilità per cedimenti imposti	253

Metodologie per l'analisi e la stima di impatti sul sistema di trasporto in scenari di rischio da frana

1. Introduzione	257
2. Delimitazione dell'area di studio e zonizzazione	258
3. Identificazione delle infrastrutture rilevanti	261
4. Definizione del grafo di rete e sua caratterizzazione	261
5. Stima della matrice di domanda	263
6. Confronto di scenari (approccio descrittivo)	264
7. Considerazioni conclusive	266
Riferimenti bibliografici e sitografici	266

Gli effetti del dissesto idrogeologico sul sistema infrastrutturale e sull'economia del territorio: questioni estimative

1. Valori patrimoniali e danno all'infrastruttura di mobilità per dissesto idrogeologico	267
--	-----

2. Stima degli effetti dell'accessibilità sui prezzi degli immobili urbani	269
3. Sulla stima del costo delle opere necessarie per il ripristino dello status quo ante	274
4. Conclusioni	278
Riferimenti bibliografici	279

Metodologie semplificate per l'analisi del rischio di infrastrutture in area vasta

1. Premessa	283
2. Analisi del rischio per le infrastrutture	284
<i>Introduzione</i>	284
<i>Definizione del Rischio</i>	285
<i>Rischio per le Infrastrutture</i>	287
3. Linea Guida – DM 586/2020	287
<i>Approccio multilivello delle Linee Guida</i>	288
4. Analisi del rischio	293
<i>Indicatori di Pericolosità Sismica</i>	293
<i>Indicatori di Pericolosità Frane</i>	293
<i>Indicatori di Esposizione</i>	294
<i>Matrice di Rischio</i>	296
5. Bibliografia	296

Metodologie per la gestione giuridica del rischio idrogeologico e profili generali di responsabilità

1. Il diritto internazionale ambientale	299
2. Disposizioni comunitarie: la gestione delle risorse idriche e la prevenzione del danno	299
<i>La gestione qualitativa e quantitativa delle risorse: il monitoraggio nella Direttiva quadro sulle acque 1000/60/CE</i>	299
<i>La gestione del rischio di alluvione nella Direttiva 2007/60/CE</i>	300
3. Aggiornamento normativo nazionale e regionale	301
<i>Il testo unico ambientale: il decreto legislativo n° 152/2006</i>	301
<i>La gestione del rischio idrogeologico e le infrastrutture</i>	302

4. Il sistema nazionale di protezione civile	305
<i>Soggetti e competenze</i>	306
<i>Le diverse tipologie di attività di prevenzione</i>	306
5. Normativa regionale della Campania: la difesa del suolo	306
<i>Gli Strumenti</i>	307
<i>I livelli di pianificazione</i>	308
6. Il Regime delle Responsabilità	309
<i>La responsabilità penale</i>	309
<i>I soggetti e le attribuzioni nella gestione del dissesto</i>	310
<i>Responsabilità civile e la responsabilità da cose in custodia</i>	310
<i>La responsabilità amministrativa</i>	312
Bibliografia	313

Metodologie per la gestione giuridica della responsabilità da dissesto idrogeologico

1. Profili generali: la gestione del rischio idrogeologico e le infrastrutture	315
<i>Il legame tra infrastrutture e dissesto idrogeologico</i>	315
<i>La disciplina generale di prevenzione del rischio idrogeologico: l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio</i>	316
<i>La necessità di una visione strategica integrata delle infrastrutture e dissesto idrogeologico</i>	316
<i>Una prima sinergia tra la geologia e le opere da progettare: la geotecnica</i>	317
<i>La programmazione strategica nazionale: la Cabina di regia e il Piano nazionale per la mitigazione dei rischi idrogeologici</i>	317
2. Le linee guide per la “classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti” ...	318
<i>Le fasi della procedura per la gestione della sicurezza dei ponti</i>	318
<i>Classificazione e gestione del rischio e valutazione del rischio frane</i>	319
<i>La valutazione della sicurezza</i>	319
<i>Sistema di sorveglianza e monitoraggio</i>	319
3. La pericolosità e il rischio geologico: due termini confusi, ma con diversi livelli di responsabilità	320
<i>I concetti di pericolosità e di rischio</i>	320
4. Attori e responsabilità' per infrastrutture	321

<i>L’Agenzia nazionale per la sicurezza delle ferrovie e delle infrastrutture</i>	321
<i>I soggetti responsabili delle infrastrutture secondo la normativa vigente</i>	322
<i>La responsabilità “integrata” per frane rispetto ai ponti e opere d’arte stradali: l’art. 31 c.d.s.</i>	324
<i>Bibliografia</i>	325

Prefazione

On. Vincenzo De Luca

Presidente della Regione Campania

Il tema della fragilità territoriale legata al rischio idrogeologico rappresenta per la Giunta regionale una priorità, il rafforzamento della capacità di governance in termini di implementazione di modelli valutativi e transdisciplinari rappresenta un percorso necessario per garantire una pianificazione più attenta e avveduta.

Il progetto, **“CUR_CIS2020 Metodologie per la valutazione puntuale del rischio idrogeologico in aree fortemente antropizzate e strumenti per le strategie di sviluppo regionale”**, finanziato dalla Giunta Regionale, realizzato attraverso la stretta collaborazione e interazione tra le Università coinvolte e le Direzioni Generali interessate (Difesa Suolo, Lavori Pubblici e Mobilità) ha garantito creazione di un modello di valutazione, gestione e monitoraggio di aree particolarmente critiche in termini di rischio da frana e da alluvioni caratterizzate dalla compresenza di infrastrutture di trasporto multiple concentrate in un ambito urbano fortemente antropizzate e ad alta valenza socio-economica.

Il lavoro svolto ha consentito, in particolare, di disporre di uno strumento operativo, un modello di valutazione complessivo del rischio idrogeologico, che ha trovato applicazione concreta nel Corridoio infrastrutturale Strategico tra Salerno e Cava de' Tirreni.

I risultati conseguiti, nonostante le difficoltà realizzative nella fase di disseminazione e formazione a causa delle restrizioni legate alla emergenza sanitaria, hanno comunque consentito di raggiungere gli obiettivi di partenza, realizzando un modello che, testato nel CIS_2020 dimostratore di Salerno, ha le caratteristiche di innovazione tecnico-scientifica, applicabilità concreta, supporto all'incremento della capacità di *governance* dei sistemi decisionali in materia di rischio infrastrutturale e implementazione trans-disciplinare con i soggetti gestori delle reti infrastrutturali strategiche.

Lo studio, mi piace evidenziare, oltre le evidenti valenze scientifiche ha messo in luce, una grande capacità di dialogo istituzionale, con il coinvolgimento, per il tramite del Comitato Universitario Regione, di ben sette Università Campane, segno ineludibile di una grande maturità del sistema e di importati doti personali di quanti hanno contribuito alla realizzazione.

Un grazie, quindi, a tutti coloro che a vario titolo hanno collaborato all'implementazione dello studio, dimostrando, con il loro lavoro, le grandi capacità professionali di cui la nostra regione è ricca.

Metodologie per i rilievi della rete di infrastrutture con tecniche di telerilevamento attivo e passivo

Salvatore Barba, Margherita Fiani, Alessandro Di Benedetto, Marco Limongiello, Anna Sanseverino

Abstract

Le variazioni morfologiche dell'ambiente naturale e del costruito causate da eventi endogeni o esogeni, possono essere monitorate nel tempo tramite il confronto di DEMs (Digital Elevation Models) e di ortofoto, generati a partire da prodotti telerilevati acquisiti in epoche diverse. Tra questi, si citano le immagini satellitari ad altissima risoluzione o da drone e le scansioni LiDAR (Light Detection And Ranging). Le tecniche di telerilevamento consentono il monitoraggio a differenti scale e la mappatura a distanza di vaste aree; inoltre, il continuo progresso tecnologico dei sensori e degli algoritmi di elaborazione ne sta favorendo una sempre più ampia utilizzazione e diffusione. Le immagini satellitari assumono oggi un ruolo fondamentale nella gestione e pianificazione del territorio su vasta scala.

Per l'analisi e la gestione di contesti più ristretti, a una scala locale, sono però necessarie immagini aeree o da drone a una più spinta risoluzione, oltre a tecniche in grado di rilevare il terreno al di sotto della vegetazione, come la tecnica Laser Scanner (LS), basata sulla tecnologia LiDAR. L'uso combinato di queste sorgenti multiple di informazione garantisce l'identificazione delle problematiche in modo sempre più accurato e completo, le informazioni estraibili costituiscono un grande patrimonio informativo, sia quantitativo che qualitativo. L'obiettivo è l'integrazione tra i dati telerilevati con tecniche diverse in ambiente GIS, in modo da supportare l'analisi delle dinamiche di sviluppo del territorio, fornendo da un lato l'informazione di carattere qualitativo, relativa ad esempio alla tipologia di copertura vegetativa, dall'altro di carattere geometrico, relativa alla morfologia del territorio. In dettaglio, è stata elaborata una stereocoppia Pleiades ad altissima risoluzione, acquisita nel mese di febbraio 2020, sull'area vasta e sono state acquisite ed elaborate immagini da drone e scansioni da Laser Scanner Terrestre (Terrestrial Laser Scanner, TLS) per le analisi a grande scala. È stato realizzato così un modello BIM del Viadotto e del Vallone Olivieri con l'obiettivo di realizzare una completa integrazione tra BIM e GIS mediante l'utilizzo e la combinazione dei punti di forza di entrambe le tecniche.

1. DEM su area vasta da immagini satellitari ad altissima risoluzione (HRSI)

Le immagini satellitari, grazie alla crescente disponibilità delle piattaforme satellitari, all'introduzione di nuovi sensori ad altissima risoluzione e al continuo miglioramento degli algoritmi di georeferenziazione, ortorettifica e estrazione del modello digitale di elevazione (Digital Elevation Model, DEM), sono diventate utili strumenti per la produzione e l'aggiornamento di cartografia a media e grande scala [1].

Nell'ultimo decennio numerosi studi hanno evidenziato le potenzialità metriche delle immagini satellitari ad altissima risoluzione, dimostrando come sia ormai possibile ottenere prodotti con un grado di precisione elevato [2]. In particolare, le variazioni morfologiche subite nel tempo possono essere valutate tramite il confronto di DEM derivati da immagini acquisite in epoche diverse [1]. Le immagini satellitari sono anche dei validi strumenti di supporto alla realizzazione di carte geomorfologiche dello stato di fatto, riducendo il numero di sopralluoghi in situ e di conseguenza i costi dell'intera attività di rilievo [3].

Le immagini satellitari sono acquisite da sensori ottico-passivi montati su piattaforme satellitari che percorrono orbite quasi circolari, in modo da garantire una distanza costante dalla superficie terrestre. I piani orbitali sono quasi polari in modo da garantire acquisizioni sincrone con il sole.

La stereo-coppia utilizzata per l'analisi dell'area vasta è stata acquisita nel periodo invernale (28 febbraio 2020) alle ore 15:08, dalla piattaforma Pléiades-HR 1A. Il sensore è dotato di quattro bande spettrali (blu, verde, rosso e IR) ed è in grado di fornire immagini con una frequenza di rivisitazione di un giorno. Le risoluzioni spaziali ricampionate sono di 2 m per il canale multispettrale e di 0.5 m per il canale pancromatico. Le immagini acquisite sono caratterizzate da una precisione nominale plano-altimetrica di 3 m senza punti di appoggio (Ground Control Point, GCP) e di 1 m con l'utilizzo di GCP. La Figura 9 mostra i fotogrammi della stereo-coppia acquisita, che copre un'area di circa 128 km². L'acquisizione è avvenuta in completa assenza di copertura nuvolosa. A causa della complessità della geometria di acquisizione, le immagini telerilevate sono affette da distorsioni geometriche che rendono necessario un processo di pre-elaborazione prima di poter essere utilizzate in applicazioni cartografiche [4]. Per avere una corretta relazione matematica tra le coordinate tridimensionali dell'oggetto e le corrispondenti coordinate bidimensionali nel piano dell'immagine, è necessario georeferenziare le immagini in modo da ricostruire la geometria di presa dei sensori. Il modello utilizzato in questa applicazione è quello parametrico, un modello rigoroso in grado di ricostruire il processo fisico-geometrico di acquisizione delle immagini.

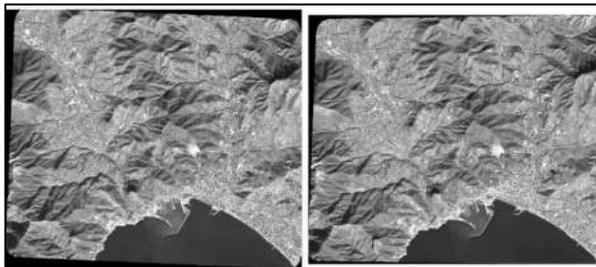


Figura 9 - Fotogrammi (Pancromatici) della stereo-coppia Pléiades-HR 1A.

La georeferenziazione è stata effettuata con l'utilizzo di GCP, tramite il software Socet GXP (della BAE Systems), all'interno del quale è implementato il modello rigoroso. Sia i GCP sia i punti di controllo (Check Points, CP) sono stati misurati a terra con ricevitori GNSS in modalità NRTK (Network Real Time Kinematic). Vista l'esigenza di avere una distribuzione omogenea dei punti sull'area, è stata progettata una rete GPS i cui vertici sono stati scelti in prossimità dei nodi di una griglia regolare (Figura 10a). Le dimensioni della maglia sono state scelte tenendo conto del numero di punti necessari per la georeferenziazione, funzione del modello matematico utilizzato e dell'accuratezza richiesta. Grazie alla celerità della misura NRTK, oltre al punto scelto in fase di progettazione, sono stati misurati anche una serie di punti limitrofi in modo tale da avere un set di punti candidati a diventare GCP più ampio e scegliere quello meglio collimabile sull'immagine e misurato con maggiore precisione (Figura 10b). La scelta dei punti da misurare è stata fatta in modo che ogni zona avesse sia un GCP sia un CP. Sono stati misurati in totale 89 punti. In dettaglio sono stati utilizzati 50 GCP e 39 CP. Le aree periferiche dell'immagine sono caratterizzate da zone montuose prive di manufatti o altri particolari naturali stabili e ben riconoscibili sulle immagini satellitari, di conseguenza non è stato possibile misurare punti su tali zone. Il sistema di riferimento adottato è UTM 33/RDN2008 (EPSG 7792) con quote ortometriche. Il modello di geoida utilizzato è l'ITALGEO2005. L'accuratezza della misura in planimetria è mediamente subcentimetrica e in altimetria raggiunge al massimo i 2.5 cm.

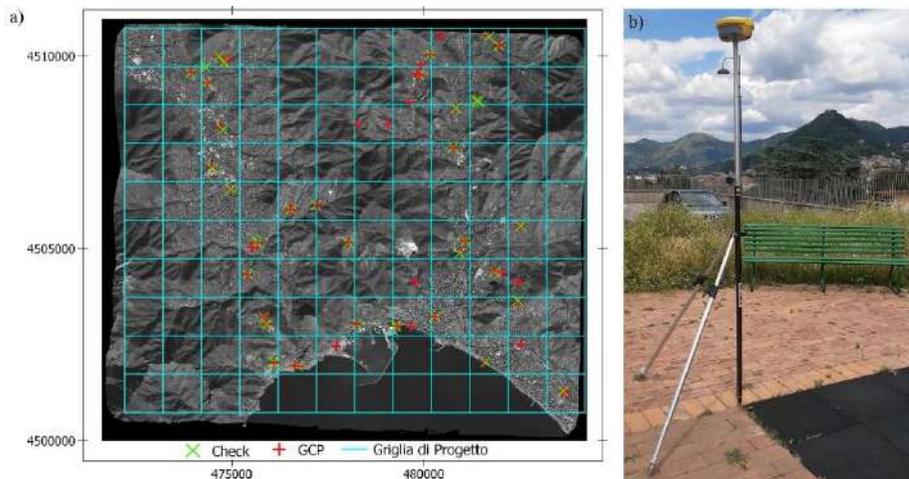


Figura 10 - a) Progettazione della disposizione dei GCP e dei CP, b) Misura GCP con antenna GNSS su asta con bipede.

La Figura 11a mostra la distribuzione dei GCP utilizzati per la georeferenziazione, la Figura 11b la distribuzione dei CP utilizzati per la stima dell'accuratezza della formazione del modello. In Figura 12 sono riportati i box-plot che mostrano la statistica dei residui del calcolo sui GCP e sui CP, nelle tre componenti. Gli scarti quadratici medi dei residui sui CP (Figura 12b) sono inferiori alle dimensioni del GSD (Ground Sample Distance).

L'estrazione del DEM, di tipo GRID a passo 50 cm, è stata fatta utilizzando l'algoritmo Next Generation Automatic Terrain Extraction (NGATE). Per verificare il grado di successo del processo di autocorrelazione digitale delle immagini, sono stati analizzati i canali di correlazione (score channel) elaborati contemporaneamente alla generazione del DEM. La Figura 13a mostra la mappa classificata dello Score Channel; utilizzando un'opportuna scala cromatica è possibile associare ad ogni colore un diverso grado di correlazione in modo tale da ottenere una mappa da cui è possibile interpretare con facilità la bontà del processo.

Le aree con elevata pendenza o fortemente in ombra o radiometricamente omogenee (come ad esempio il mare), non permettono una perfetta individuazione di punti omologhi tra le due coppie di immagini e questo comporta valori di correlazione molto bassi o nulli (pixel rossi, Figura 13a). Questa situazione si verifica anche per aree con folta vegetazione arborea o arbustiva caratterizzate da valori di correlazione bassi. Al contrario, per le aree pianeggianti o edificate si ottiene un migliore riconoscimento dei pixel omologhi, e di conseguenza una migliore correlazione (pixel verdi). Il processo ha comunque prodotto un DEM caratterizzato da buoni valori di correlazione.

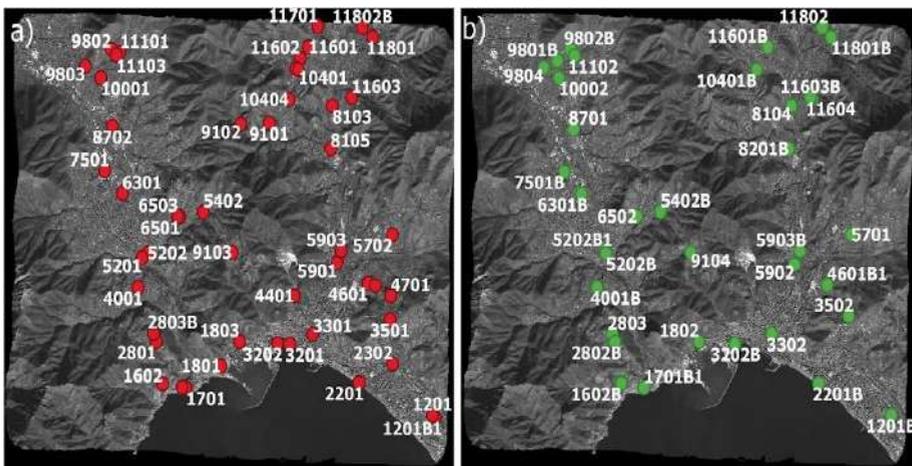


Figura 11 - a) Disposizione dei 50 GCP sull'immagine; b) Distribuzione dei 39 CP.

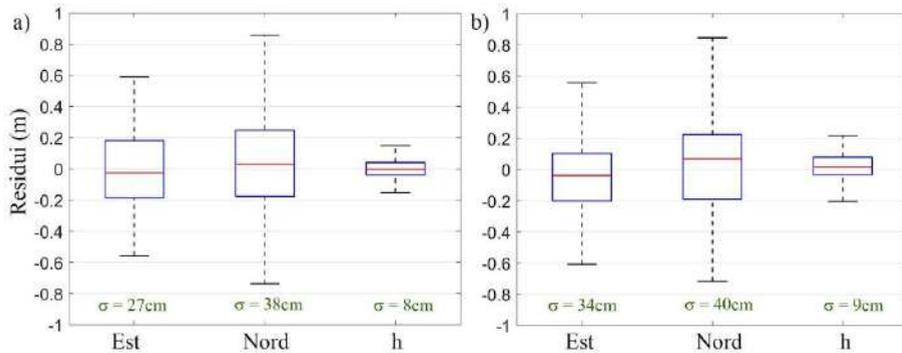


Figura 12 - Box-Plot, statistica dei residui. a) Residui sui 50 GCP; b) Residui sui 39 CP.

Il DEM è stato editato per rimuovere la vegetazione e i manufatti ed estrarre il modello digitale del terreno (Digital Terrain Model, DTM).

Il processo di editing è avvenuto in modo semi-automatico, secondo due fasi. Nella prima fase è stato effettuato un filtraggio automatizzato mediante un tool implementato nel software; note le dimensioni medie dei fabbricati e la tipologia di vegetazione è possibile eliminare gran parte degli elementi presenti sul terreno. Nella seconda fase, è stato effettuato un editing manuale data la complessa morfologia del terreno e la particolare antropizzazione. La Figura 13b mostra uno stralcio del DTM ottenuto in visualizzazione “shaded relief”.

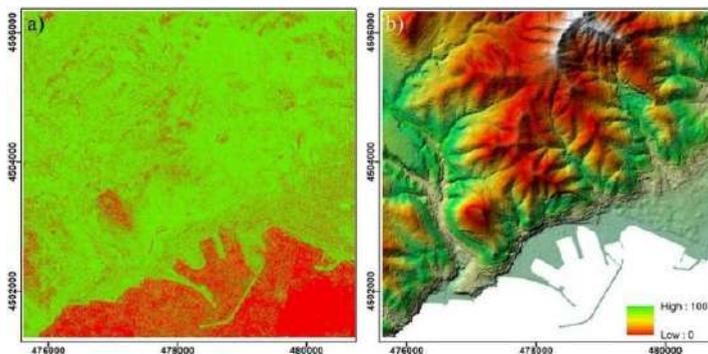


Figura 13 - a) Score Channel; b) Stralcio DTM su area di interesse.

2. Area di Approfondimento Vallone e Viadotto Olivieri

Il laser scanner terrestre (Terrestrial Laser Scanner, TLS) è uno strumento in grado di acquisire le coordinate spaziali di una data regione rispetto a un sistema di riferimento locale che ha l’origine nel centro dello strumento. Oltre

alle coordinate spaziali, gli scanner integrano i dati con il valore della riflettanza. La tecnica si basa sulla tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging) e permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie utilizzando uno o più impulsi laser. I sistemi a scansione laser operano in modo quasi completamente automatico e sono in grado di acquisire un numero notevole di punti al secondo, fino ad alcune migliaia. Alcuni laser scanner sono in grado di acquisire oggetti a portate che possono arrivare sino ad alcuni chilometri, consentendo l'esecuzione di rilievi in zone difficilmente raggiungibili [5].

Il rilievo TLS è una delle più efficaci e celeri tecniche di Telerilevamento per l'acquisizione di informazioni tridimensionali, caratterizzate da un elevato grado di dettaglio e di accuratezza [6]. Il vantaggio di poter operare su un modello tridimensionale rispondente all'oggetto reale è indubbiamente enorme: non più dati numerici o rappresentazioni piane, incapaci di rappresentare l'oggetto nella sua reale complessità, ma una base di riferimento tridimensionale utile per controlli geometrici di qualunque tipo. La possibilità di eseguire il rilievo a distanza permette infatti, specialmente quando si ha a che fare con infrastrutture di trasporto, di aumentare il grado di sicurezza tanto per gli operatori quanto per l'utenza che le usa.

La campagna di rilievo effettuata aveva come finalità la conoscenza delle caratteristiche geometriche del Viadotto Olivieri, la catalogazione degli elementi strutturali, dei materiali costruttivi e delle superfici esterne di ciascun elemento strutturale e la modellazione del vallone sottostante.

La misura è stata effettuata con un TLS Optech Polaris della Teledyne, strumento a impulsi che sfrutta la tecnologia ToF (Time of Flight) con caratteristiche ideali per il rilievo del territorio, ma anche per applicazioni di corta e media portata. Lo scanner produce un impulso laser multi-eco, capace di generare fino a 4 ritorni, utili per filtrare la vegetazione. L'accuratezza nominale sulla distanza è di 5 mm @ 100m (1σ), la precisione è di 5 mm @ 100m (1σ). Sono state effettuate complessivamente 10 stazioni di misura (8 in prossimità del viadotto Olivieri e 2 sulla strada provinciale SS18 a valle del vallone), la disposizione dei punti di stazione è stata scelta in modo da:

- ridurre al minimo ombre e occlusioni;
- avere una buona sovrapposizione tra le scansioni per ottimizzare il processo di allineamento;
- minimizzare l'angolo di incidenza con la superficie scansionata;
- garantire un'omogenea densità spaziale dei punti;

- avere una buona visibilità dei target: un criterio per la scelta delle posizioni di scansione è la visibilità completa di più target da utilizzare sia in fase di allineamento delle scansioni sia per la georeferenziazione. Almeno 3 target dovranno essere presenti all'interno di ogni scansione.

La risoluzione di scansione impostata è di circa 4mm @100m. Per la co-registrazione e la georeferenziazione delle scansioni sono stati utilizzati tre target piani, in materiale polimerico ad alta riflettanza, montati su asta munita di livella sferica e bipede. La posizione dei target è stata misurata con ricevitori GNSS nel sistema di riferimento Nazionale italiano in vigore UTM33/RDN2008 (EPSG 7792), con quote ellissoidiche. In fase di post-processing le quote ellissoidiche sono state convertite in quote ortometriche utilizzando i grigliati GK2 forniti dall'IGM; il datum altimetrico utilizzato è ITAL-GEO2005.



Figura 14 - Nuvola di punti Vallone e Viadotto Olivieri.

Le scansioni sono state co-registrate e allineate utilizzando il software proprietario ATLAScan (sempre della Teledyne), l'errore medio di allineamento dei punti corrispondenti è risultato pari a 4 mm. La Figura 14 mostra alcune viste prospettiche della nuvola di punti allineata e georeferenzziata.

3. Modello BIM del Vallone e del Viadotto Olivieri

Le attività che competono al gestore di una infrastruttura sono molteplici e comprendono sia il censimento sempre aggiornato del proprio patrimonio infrastrutturale sia l'acquisizione di dati di tipo geometrico e l'accertamento dello stato di salute delle opere d'arte [7]. Altra attività di interesse del gestore può essere il recupero di informazioni progettuali perse o parzialmente mancanti o la generazione di dettagliati modelli geometrici dello stato attuale dell'infrastruttura (as-built) per valutare eventuali scostamenti tra stato di fatto e di progetto. L'uso del Building Information Modeling (BIM) è certamente in aumento, soprattutto nel settore dell'Ingegneria Civile. Negli ultimi anni c'è un crescente interesse per l'integrazione del BIM e del GIS (Geographic Information System), nota come GeoBIM. Tuttavia, la maggior parte

della ricerca si concentra principalmente sull'importazione e interoperabilità di dati BIM in ambiente GIS e viceversa.

L'obiettivo del nostro lavoro era quello di realizzare un modello integrato BIM e GIS (Geographic Information System), combinando i punti di forza di entrambe le tecnologie: la componente semantica e spaziale del GIS con le informazioni 3D aventi caratteristiche di alto livello di dettaglio, provenienti dal modello BIM [8]. Il modello così generato consente una gestione della struttura e/o dell'infrastruttura in un contesto più ampio e completo; non solo quindi a livello locale ma applicabile a opere che hanno forte impatto con il territorio e situate in aree a rischio idrogeologico. L'integrazione di un GeoBIM è effettuata mediante l'analisi di alcune principali caratteristiche: i) l'armonizzazione e la coerenza dei dati (es. stima dell'accuratezza, rappresentazione geometrica e semantica, quantità di dettaglio, georeferenziazione); ii) l'interoperabilità dei dati provenienti da differenti fonti; iii) la trasformazione di un insieme di dati in un unico formato standardizzato.

Sono stati sviluppati i modelli BIM che hanno permesso di organizzare le informazioni utili a definire l'intero viadotto: ogni elemento virtuale è stato "informato" con tutti i parametri e le caratteristiche dell'elemento strutturale.

Per ottimizzare la modellazione in ambiente BIM dell'opera infrastrutturale, è stato necessario suddividere la nuvola di punti acquisita con TLS in sei regioni (due inerenti agli impalcati e quattro alla zona delle pile); per l'operazione è stato utilizzato il software ReCap (di Autodesk). Successivamente, si è organizzato un modello federato, tramite un Tool del software Revit (sempre di Auto-desk), il "BIM Authoring", che contenesse tanto il modello del vallone e i volumi rappresentativi del contesto urbano, quanto il modello BIM del viadotto (Figura 15).

Un primo modello approssimato del terreno è stato sviluppato a partire dalle curve di livello, procedendo a definire in maniera più dettagliata le superfici rappresentative del sistema infrastrutturale, mentre il contesto urbano è stato riprodotto solo volumetricamente all'interno di un secondo file Revit (con estensione RVT). Per quanto concerne nello specifico la modellazione del viadotto, essendo per lo più composto da elementi non standardizzati, si è proceduto, all'interno di un terzo progetto, generando famiglie parametriche ad hoc delle varie parti strutturali (impalcato con doppia altezza a valle e a monte, pile composte da pilastri e muri di collegamento e arco con relative nervature); per gli elementi delle barriere di sicurezza, in quanto standardizzati e regolari, la modellazione, semiautomatica, è stata effettuata mediante l'implementazione di uno script in Dynamo (plug-in di Revit). La fase succes-

siva del lavoro è stata dedicata allo studio di un workflow in grado di integrare il contributo della metodologia BIM in un GIS realizzato con strumenti ESRI. In questo modo, il modello parametrico prodotto in Revit è convertito in GeoDatabase.

Una delle incongruenze più evidenti tra BIM e GIS è nella georeferenziazione dei dati: i progettisti BIM lavorano in un sistema cartesiano locale mentre la morfologia del terreno è riferita a un sistema geodetico di riferimento. Per integrare i prodotti, si è adottato un sistema di riferimento unico, associando quello nazionale in vigore (UTM33N/RDN2008) al modello principale, che funge quindi da ospite, per i modelli in esso collegati, passaggio fondamentale per la “pubblicazione”, a quest’ultimi, delle stesse coordinate; tali informazioni sono state acquisite in modo semiautomatico dalla nuvola di punti e dal modello digitale del Vallone Olivieri. L’impiego di un sistema di riferimento condiviso ha così permesso di assemblare, a valle della modellazione, i tre progetti sviluppati separatamente al fine di produrre gli elaborati grafici d’insieme (piante e sezioni, Figura 15).

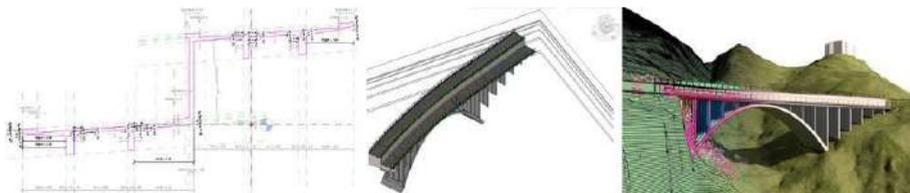


Figura 15 - Visualizzazione del modello BIM del Viadotto Olivieri.

4. Area di Approfondimento del Monte San Liberatore

Il rilievo di versanti e pareti rocciose con tecniche geomatiche rappresenta un considerevole supporto per studi di carattere geo-strutturale, diretti principalmente alla progettazione di interventi di messa in sicurezza. L’obiettivo del lavoro svolto era quello di fornire la documentazione metrica necessaria per effettuare elaborazioni geomeccaniche dettagliate di stabilità e analisi geomorfologiche di dettaglio. Un aspetto importante è la possibilità di integrare i dati ottenuti dal rilievo laser con quelli ricavati da altre tecniche del telerilevamento, in particolare fotogrammetria da drone o da satellite. A tale scopo, il lavoro svolto è stato finalizzato all’impiego delle tecniche laser scanning per il rilievo del versante instabile del Monte San Liberatore; il dato laser è stato integrato con quello proveniente da fotogrammetria da drone.

Un approccio di tipo integrato ha permesso di ottenere modelli multi-risoluzione con la possibilità di migliorare i risultati ottenibili dalle singole tecni-

che, combinando un'accurata informazione metrica con una descrizione fotografica di alta qualità. Algoritmi basati su tecniche di visione artificiale, in particolare lo Structure from Motion (SfM), permettono di ottenere modelli tridimensionali densi e precisi a partire da serie di immagini digitali acquisite senza l'uso di complessi sistemi di orientamento delle camere. Da un lato, la tecnica TLS non consente di ottenere informazioni di tipo continuo; l'estrazione della stratificazione del costone roccioso è resa complessa dalla modalità stessa di acquisizione del TLS ed è funzione principalmente della densità del dato stesso. Dall'altro lato, le tecniche di matching fotogrammetrico non permettono di estrarre punti autocorrelati laddove sia assente la texture dell'oggetto, ad esempio in corrispondenza di zone d'ombra o al di sotto della vegetazione. Inoltre, i prodotti ottenuti non sono direttamente utilizzabili ma è necessario applicare processi di filtraggio semiautomatico con software specifici e, nella maggior parte dei casi, anche editing di tipo manuale. I fotogrammi sono stati acquisiti con sistema SAPR (Sistema Aereo a Pilotaggio Remoto) leggero, un quadricottero DJI Mavic 2 Pro. Il drone, di circa 900 gr di peso, è dotato di una camera con sensore CMOS con dimensione di 1" e risoluzione da 20 MPixel (pixel size di 2,4 micron), FoV di 77° e focale equivalente di 28 mm. Sono state acquisite sia immagini nadirali sia immagini oblique, per restituire interamente il modello 3D del monte San Liberatore, caratterizzato da pareti sub-verticali e cavità (Figura 16). Le immagini nadirali sono state acquisite con un volo a singola griglia acquisendo 101 fotogrammi, coprendo un'estensione territoriale di circa 79 ettari. Il piano di volo è stato progettato tenendo conto dei requisiti generali adottati in fase di restituzione; un GSD minimo di circa 3.7 cm, overlap del 70% e sidelap del 60%. Per le acquisizioni delle immagini oblique, per un numero totale di 672 fotogrammi, si è scelto di operare in modalità di pilotaggio manuale, così da scegliere le migliori angolazioni per rilevare il costone roccioso. L'estrazione del modello digitale a partire dai fotogrammi acquisiti necessita i parametri di orientamento interno ed esterno della camera. La determinazione della posizione e dell'assetto delle prese con metodi diretti risulta un processo oneroso e molto complesso; pertanto, si è preferito calcolare l'orientamento relativo in modo automatico, a partire dai soli fotogrammi acquisiti. Questo metodo presuppone, necessariamente, l'utilizzo di GCP per orientare e scalare il modello e di punti di controllo per valutare l'accuratezza del modello finale. I GCP sono stati materializzati mediante target fotogrammetrici e posizionati sull'intera area, la loro posizione è stata misurata con ricevitori GNSS, in modalità NRTK. La scelta della posizione dei GCP è stata fatta in modo da avere una distribuzione omogenea dei punti sull'area e in modo da evitare ostacoli per la ricezione del

segnale dai satelliti [9]. La generazione del modello finale è avvenuta utilizzando tecniche di matching multimmagine implementate nel software Agisoft Metashape. L'errore medio ottenuto in fase di georeferenziazione è di circa 5 cm. La qualità del modello è stata valutata tramite analisi statistiche dell'errore di riproiezione [9], allo scopo di eliminare valori anomali presenti sulla nuvola di punti autocorrelata. La nuvola autocorrelata è stata integrata con misure TLS. Analogamente a quanto fatto per il Viadotto Olivieri, la progettazione dei punti di stazione laser è stata studiata in modo tale da soddisfare le esigenze di grado di accuratezza da raggiungere. Per la co-registrazione e la georeferenziazione delle scansioni sono stati utilizzati tre target sferici, disposti in prossimità del cordolo superiore della galleria paramassi e tre target piani montati su asta e bipede e disposti in prossimità dei punti di stazione. La posizione dei target è stata misurata con ricevitori GNSS nello stesso sistema di riferimento adottato per la misura dei target fotogrammetrici, il sistema di riferimento Nazionale, con quote ortometriche. La Figura 16 riporta alcune immagini inerenti ai fotogrammi acquisiti dal volo SARP, i target fotogrammetrici materializzati e il prodotto finale ottenuto per integrazione.



Figura 16 - Modello di San Liberatore.

5. Conclusioni

Per supportare correttamente le analisi geomeccaniche, fare valutazioni sulla geometria delle pareti rocciose o per l'analisi di infrastrutture complesse immerse in scenari particolarmente critici da un punto di vista idrogeologico, è necessario disporre di una affidabile documentazione su aree estese e, parallelamente, di un elevato grado di accuratezza e dettaglio. I risultati delle attività svolte confermano i vantaggi offerti dall'integrazione dei dati provenienti dai diversi sensori di Telerilevamento. Uno dei punti di forza delle tecniche adottate risiede nella possibilità di documentare aree di notevole estensione difficilmente o completamente inaccessibili, con risultati soddisfacenti. Lo schema di acquisizione delle prese fotogrammetriche effettuate da drone e da satellite si presta, inoltre, all'osservazione stereoscopica, utile per la corretta interpretazione della conformazione delle rocce da parte degli esperti del settore.

Riferimenti bibliografici

- [1] Barbarella, M.; Cuomo, A.; Di Benedetto, A.; Fiani, M.; Guida, D. Topographic base maps from remote sensing data for engineering geomorphological modelling: An application on coastal mediterranean landscape. *Geosciences* 2019, 9, 500.
- [2] Dadrass Javan, F.; Samadzadegan, F.; Mehravar, S.; Toosi, A.; Khatami, R.; Stein, A. A review of image fusion techniques for pansharpening of high-resolution satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2021, 171, 101-117.
- [3] Saleem, N.; Huq, M.E.; Twumasi, N.Y.D.; Javed, A.; Sajjad, A. Parameters derived from and/or used with digital elevation models (dems) for landslide susceptibility mapping and landslide risk assessment: A review. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2019, 8, 545.
- [4] Poli, D.; Toutin, T. Review of developments in geometric modelling for high resolution satellite pushbroom sensors. *The Photogrammetric Record* 2012, 27, 58-73.
- [5] Abellán, A.; Vilaplana, J.M.; Martínez, J. Application of a long-range terrestrial laser scanner to a detailed rockfall study at vall de núria (eastern pyrenees, spain). *Engineering Geology* 2006, 88, 136-148.
- [6] Boehler, W.; Vicent, M.B.; Marbs, A. Investigating laser scanner accuracy. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2003, 34, 696-701.
- [7] Truong-Hong, L.; Laefer, D.F. Application of terrestrial laser scanner in bridge inspection: Review and an opportunity. *International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)*: 2014.
- [8] de Laat, R.; van Berlo, L. Integration of bim and gis: The development of the citygml geobim extension. In *Advances in 3d geoinformation sciences*, Kolbe, T.H.; König, G.; Nagel, C., Eds. Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2011; pp 211-225.
- [9] Barba, S.; Barbarella, M.; Di Benedetto, A.; Fiani, M.; Gujski, L.; Limongiello, M. Accuracy assessment of 3d photogrammetric models from an unmanned aerial vehicle. *Drones* 2019, 3.

MEMBRI DEL TAVOLO

Università degli Studi di Napoli Parthenope

Stefano Aversa, Responsabile di Sede e del Progetto
Renata Della Morte
Luca Cozzolino

Università degli Studi di Salerno

Domenico Guida - *Responsabile di Sede e co-responsabile di Progetto*

Domenico Guida

Salvatore Barba

Ciro Caliendo

Stefano De Luca

Roberta Di Pace

Settimio Ferlisi

Margherita Fiani

Nicoletta Guida

Elide Nastri

Antonio Nesticò

Luigi Petti

Vincenzo Piluso

Antonello Cestari

Albina Cuomo

Anna Sanseverino

Alessandro Di Benedetto

Lucas Matias Gujski

Marco Limongiello

Filomena Nuccio

Mario Valiante

Annunziata Martucciello

Università degli Studi di Napoli Federico II

Domenico Calcaterra - *Responsabile di Sede*

Vincenzo Allocca

Pantaleone De Vita

Diego Di Martire

Luigi Guerriero

Alessandro Iannace

Giacomo Russo

Enza Vitale

Stefano Vitale

Antonio Pignalosa

Miriam Limongiello

Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli

Roberto Greco - *Responsabile di Sede*

Mario Minale

Michele Iervolino

Armando Di Nardo

Claudia Carotenuto

Carlo Giudicianni

Saray Perez Robles

Giovanni Francesco Santonastaso

Università degli Studi del Sannio

Francesco Maria Guadagno - *Responsabile di Sede*

Paola Revellino

Libera Esposito

Francesco Fiorillo

Davide Mazza

Ernesto Prinzi

Vittorio Catani

Alesso Luongo

Università degli Studi Suor Orsola Benincasa

Paola Cennamo - *Responsabile di Sede*

Daniele De Luca

Emanuele Del Guacchio

Università di Napoli L'Orientale

Emma A. Imperato

Marianna Pace

Roberta Venditti



Il Torcoliere • Officine Grafico-Editoriali d'Ateneo

Università degli studi di Napoli "L'Orientale"

Finito di stampare nel mese di dicembre 2021

Nella programmazione europea 2014/2020*, l'attuazione delle opportune sinergie tra il sistema Universitario e la Regione Campania ha realizzato progetti che hanno fornito elementi di conoscenza e competenze di carattere tecnico-scientifico. I contributi hanno già supportato e rafforzeranno l'azione regionale amministrativa nei processi di sviluppo del sistema delle imprese campane operanti nei diversi settori. Un'azione amministrativa efficace ed efficiente è da sempre il punto di partenza per l'utilizzo dei Fondi Strutturali dell'Unione Europea finalizzati allo sviluppo economico, sociale e territoriale dei paesi membri. In tal senso non sorprende che per la Regione Campania, nell'ambito della propria programmazione, il tema del rafforzamento della capacità amministrativa abbia assunto un'importanza strategica, tale da essere declinato come una delle priorità di investimento per la crescita regionale che contribuisce allo sviluppo del nostro Paese.

* POR FSE 2014/2020 – OT 11 – Programmazione interventi capacità istituzionale. Attuazione DGR 743 del 20/12/16.

ISBN 978-88-6719-201-4

