

# POTENZIALITÀ E LIMITI DEI SERVIZI PPP ONLINE PER IL POSIZIONAMENTO DI STAZIONI MASTER: CASO STUDIO SUL FIUME SIRBA (AFRICA SUB-SAHARIANA)

## POTENTIAL AND LIMITATIONS OF FREE ONLINE PPP SERVICES IN MASTER BASE POSITIONING: A CASE STUDY ALONG THE SIRBA RIVER IN SUB-SAHARAN AFRICA

E. Belcore

Politecnico di Torino, DIST, Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio.  
Viale Pier Andrea Mattioli, 39, 10125 Torino, Italia

**PAROLE CHIAVE:** PPP, GNSS, RTK, Africa sub-Sahariana.

**KEY WORDS:** PPP, GNSS, RTK, sub-Saharan Africa.

### RIASSUNTO

L'utilizzo di ricevitori GNSS è comune e consolidato in molti settori e, negli ultimi anni, il loro impiego è cresciuto anche nei servizi di emergenza, come supporto alla creazione di modelli per la stima del rischio dovuto a fenomeni naturali e nelle applicazioni del monitoraggio ambientale. L'impiego di tecniche GNSS è cresciuto sia grazie all'aumento del numero di satelliti, sia alla presenza di nuove infrastrutture per il posizionamento (reti di stazioni permanenti). Il numero crescente di costellazioni e i nuovi modelli di correzione atmosferica amplificano le potenzialità delle tecniche che sfruttano il Precise Point Positioning (PPP) che sino a qualche anno fa richiedeva lunghe sessioni di misura e particolari accorgimenti per raggiungere accuratezze centimetriche senza l'ausilio di stazioni permanenti, ma utilizzando un solo ricevitore GNSS. La nascita di servizi PPP online gratuiti ha permesso un più ampio accesso all'utilizzo di questa tecnica. In questo contributo si analizzano le prestazioni di alcuni servizi PPP online come soluzione per la realizzazione di rilievi GNSS in aree svantaggiate per l'assenza di stazioni master, infrastrutture geodetiche. In particolare, si confrontano tre servizi PPP online gratuiti: *Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning tool* (CSRS-PPP); *Automatic Precise Positioning Service* (APPS); *Online GPS processing service* (AUSPOS), analizzandone le caratteristiche principali e la capacità di elaborazione in funzione di sessione di misura variabili (3 ore, 1 ora e 30 minuti). I dati utilizzati sono stati raccolti nella regione sud-occidentale del Niger, lungo il corso del fiume Sirba, affluente del fiume Niger. I risultati dei tre servizi in esame mostrano delle precisioni e delle accuratezze relative inferiori a 5 cm per sessioni di tre ore, soddisfacendo le esigenze del rilievo. Nell'analisi per brevi tempi di misura (mezz'ora) APPS fornisce i risultati con maggior precisione, tra 0,031 cm e i 0,272 cm. Il servizio meno performante è AUSPOS che per tempi di permanenza di un'ora arriva a precisione di 0,612 cm. CSRS-PPP fornisce valori intermedi tra AUSPOS e APPS.

### ABSTRACT

The use of GNSS dual frequency receivers is consolidated in many fields and in the last years the employment of this technology has spread also for emergency services, as support to natural risk forecast modelling and environmental monitoring. The diffusion of GNSS techniques has increased thanks to the growing number of satellites, the new infrastructure (such permanent stations networks). The growing number of satellite constellations amplifies the potentiality of the Precise Point Positioning (PPP) technique. Until some years ago, this technique was limited by long sessions of measurements to obtain good precisions (cm), using only one GNSS dual frequency receiver. Nowadays, exists online PPP free services that permit a broad access to PPP technique. In this contribution PPP online services are analysed as potential solutions for realizing GNSS surveys in areas considered disadvantaged for their lack of infrastructure. Particularly, three PPP online services (*Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning tool* (CSRS-PPP); *Automatic Precise Positioning Service* (APPS); *AUSPOS Online GPS processing service*) are compared, and their elaboration abilities for different durations of data record (three scenarios of 3 hrs, 1 hrs and 30 minutes) are analysed. The data for the analysis were collected in south-west Niger, along the Sirba river (Niger, Africa). The results reveal precisions and relative accuracies lower than 5 cm for three hours' session and satisfy the needs of the project. From the analysis of the short observation sessions (i.e. one hour and half hour) emerged that APPS provides the best precision values: between 0,031 cm and 0,272 cm. The less performant service is AUSPOS that for one hour of data record provides 0,612 cm precision. CSRS-PPP has precision values between the ones of AUSPOS and APPS.

### 1. INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni le applicazioni del posizionamento basate su GNSS (Global Navigation Satellite Systems) hanno progressivamente superato i metodi di rilievo topografico tradizionale, diventando strumenti di utilizzo comune in numerosi settori. Oggi rivestono un ruolo chiave nell'acquisizione di dati grazie alla modernizzazione del settore che ha visto un aumento del numero di satelliti, il miglioramento della qualità dei segnali, la riduzione dei costi dei ricevitori e la crescita dell'efficienza e della varietà di prodotti disponibili. A partire dal 2002 (Eren et al., 2009) si sono diffuse le prime strutture di rete per il posizionamento

con tecnica Real Time Kinematic (RTK), ovvero reti composte da stazioni permanenti di coordinate note, anche definite *Continuously Operating Reference Station* (CORS), che supportano l'esecuzione di rilievi in tale modalità. Nella tecnica RTK, i modelli d'errore sono stimati su base "areale" e l'utente può utilizzare il posizionamento differenziale utilizzando un unico ricevitore che semplifica le operazioni sul campo (Rizos 2007; Grejner-Brzezinska et al. 2007). Oggi esistono CORS distribuite su buona parte del globo, ma molte aree del mondo non sono ancora coperte da tali infrastrutture, come alcuni paesi dell'Africa Sub-Sahariana (Figura 1).



Figura 1. CORS presenti in Africa. I punti verdi indicano le stazioni che negli ultimi dieci giorni hanno inviato dati al International GNSS Service (IGS), mentre i punti rossi rappresentano le stazioni che non inviano dati al IGS da oltre dieci giorni. La mappa è aggiornata quotidianamente. Immagine relativa al 5 maggio 2018 Fonte: International GNSS Service (IGS).

In queste regioni la realizzazione di rilievi RTK può essere problematica. Una possibile soluzione prevedrebbe l'utilizzo di Assisted-GNSS (A-GNSS), ovvero un ricevitore a doppia frequenza in grado di calcolare istantaneamente la propria posizione senza bisogno di un ricevitore con funzione di base, come ad esempio A-OMNISTAR. Seppur pratiche e adatte ad ambienti estremi queste soluzioni sono ancora molto costose. Un'alternativa ai A-GPS è la classica modalità rover-base per posizionamento RTK con due ricevitori GNSS a doppia frequenza: uno strumento funziona da stazione master (base) e con l'altro strumento svolge il vero e proprio rilevamento (rover). Per la stazione master devono essere note le coordinate con buona accuratezza. Quando non sono presenti punti a coordinate note, possono essere calcolate con Precise Point Positioning (PPP), correggendo i dati raccolti dal ricevitore master successivamente al rilievo sul campo. Il PPP consiste nella modellizzazione degli errori presenti nelle misure GNSS, a partire dai dati raccolti dal ricevitore e dai modelli disponibili da prodotti globali che considerano parametri atmosferici, geofisici (come *Earth tides* e *ocean Loading*) e relativi ai satelliti (*satellite clocks*, *satellite antenna phase center offset*, *group delay differential*, etc).

I dati per i modelli PPP sono raccolti da stazioni fisse che possono essere posizionate anche a centinaia di chilometri dall'area in cui si svolge il lavoro (Kouba e Héroux, 2001). Sino a pochi anni fa il PPP era limitato dall'impiego di software specifici e dalla disponibilità di efemeridi (posizioni e clock dei satelliti) precise, condizioni che rendevano il metodo PPP non molto diffuso. Oggi, invece, è possibile realizzare il PPP con servizi gratuiti online (per citarne alcuni MAGICPPP, AUSPOS, APPS, GAPS, CSRS-PPP) che con modelli già sviluppati calcolano automaticamente le soluzioni di posizione dei dati RINEX forniti dagli utenti. Questi servizi sono generalmente offerti da enti di ricerca governativi. È sufficiente inviare i dati grezzi

dell'acquisizione e questi servizi restituiscono le coordinate corrette dei ricevitori. Seppur basati sullo stesso principio, i servizi PPP possono restituire risultati tra loro lontani e in diversi formati. Questo contributo vuole confrontare tre servizi PPP free online: Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning tool (CSRS-PPP); Automatic Precise Positioning Service (APPS); AUSPOS Online GPS processing service per la correzione di dati raccolti con rilievo RTK in modalità rover-base. In particolare, i dati utilizzati per il PPP sono stati raccolti durante un rilievo topografico realizzato a febbraio 2018 nell'ambito del progetto ANADIA II, lungo il fiume Sirba, nel sud-ovest del Niger.

## 2. SITO E RILIEVO

Il progetto ANADIA II nasce nel 2017 con l'obiettivo di sviluppare un sistema di allerta precoce contro le inondazioni e formare i tecnici nigerini su monitoraggio e previsione delle piene fluviali. In questo contesto è stato realizzato un rilievo topografico per determinare i profili delle sezioni trasversali e localizzare le strutture idrauliche lungo 100 km del fiume Sirba. I profili sono stati utilizzati per la creazione di un piano quotato che, congiuntamente a dati di flusso, è stato utilizzato per sviluppare un modello idraulico. Quest'ultimo sarà la base per la previsione delle inondazioni e la creazione del sistema di allerta precoce (Figura 2). In questo quadro, i dati raccolti richiedevano un'incertezza verticale non superiore a  $\pm 5$  cm per sezioni distanti 1 km l'una dall'altra. Inoltre il rilievo doveva essere realizzato durante la stagione secca (nel mese di febbraio), per caratterizzare al meglio il letto fluviale. Il Niger è un paese privo di CORS, le più vicine sono posizionate in Nigeria e in Burkina Faso. Nonostante questi paesi siano confinanti con il Niger, la distanza tra l'area di studio e le stazioni è maggiore di 400 km, valore elevato per garantire le precisioni e le accuratezze ricercate utilizzando l'RTK. Inoltre le alte temperature e l'assenza di una rete viaria sufficientemente sviluppata dell'area di studio inaspriscono le condizioni di lavoro. In questa situazione un rilievo RTK è sembrata l'unica strada percorribile. La possibilità di utilizzare ricevitori A-GNSS è stata presto scartata vista l'impossibilità di reperire tali strumenti in loco e per i costi, considerati eccessivi, di un eventuale trasporto dall'Italia. Si è deciso quindi di ricorrere ad un rilievo RTK in modalità rover-base con soluzione PPP in post processing. I dati sono stati acquisiti con due dispositivi STONEX 10S affittati in loco. Il ricevitore master è stato posizionato in 18 stazioni lungo 100 km di corso d'acqua (Figura 3) e sono stati rilevati circa 3150 punti con lo strumento Rover. Ogni stazione base ha acquisito dati per almeno 2 ore, con durata massima di 3 ore e 22 minuti. Le alte temperature ambientali (circa 53°C rilevati dal ricevitore master) non hanno permesso tempi di stazionamento maggiori, poiché dopo poco più di 3 ore il ricevitore GNSS si surriscaldava e interrompeva la comunicazione radio con il Rover. La vegetazione ripariale e la topografia del luogo non permettevano la comunicazione radio tra i due strumenti oltre i 3 km di distanza. Nonostante le condizioni proibitive e la totale assenza di strade (se non una pista in laterite che corre lungo il fiume) è comunque stato possibile misurare 103 sezioni lungo 100 km di fiume in appena 9 giorni (Figura 4). Sono stati memorizzati i dati grezzi in formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) versione 3.1 con frequenza di raccolta di 1 secondo.



Figura 2. Struttura del sistema di allerta precoce. Il DTM del letto del fiume generato con il rilievo di febbraio 2018 con ricevitori GNSS congiuntamente ai dati di flusso generano il modello idraulico dell'area in esame

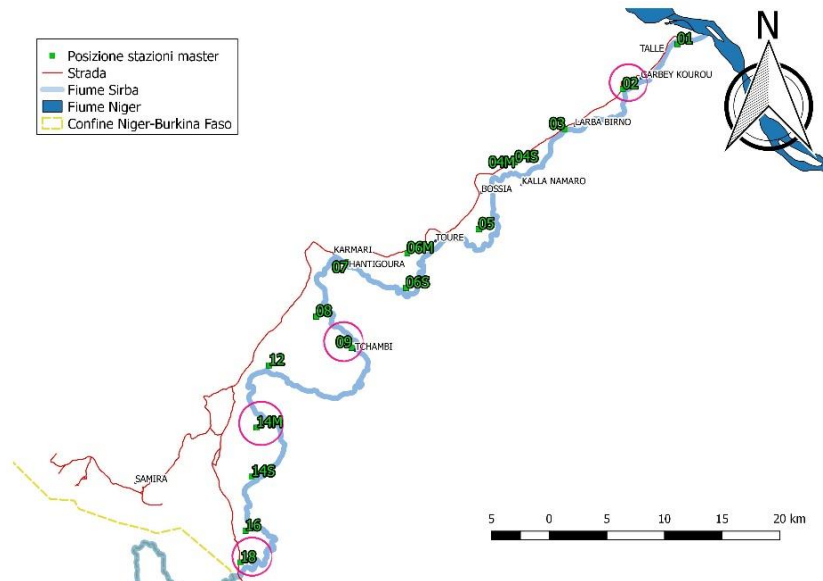


Figura 3. Tratto di fiume Sirba interessato dal rilievo e posizione delle 18 stazioni base (in verde). Le stazioni cerchiate sono state analizzate in questo contributo



Figura 1. Una delle stazioni Master durante il rilievo

### 3. POST-PROCESSING CON SERVIZI IN RETE PER IL PPP

I dati RINEX v.3 registrati dalla stazione base sono stati post processati con tre diversi servizi online: *The Canadian Spatial Reference System (CSRS-PPP)*, *Precise Point Positioning tool (AUSPOS)* e *Automatic Precise Positioning Service of the Global Differential GPS System (APPS)*.

#### 3.1 I servizi utilizzati

##### 3.1.1 Canadian Spatial Reference System (CSRS) Precise Point Positioning tool (CSRS-PPP)

Il CSRS-PPP è una applicazione gratuita online fornita dal governo Canadese operativa dal 2003 (Mireault et al., 2008).

Permette di calcolare con elevata accuratezza le posizioni di punti acquisiti con GNSS a partire da dati grezzi in formato RINEX

(<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/tools-applications/10925#ppp>). CSRS-PPP utilizza efemeridi GNSS per produrre coordinate ad accuratezza assoluta omogenea, ovvero con valori di accuratezza che non dipendono dalla posizione sul globo in cui stono stati acquisiti i dati e dalla distanza tra ricevitore GNSS e stazione CORS. La posizione è tanto più accurata quanto più lunga è la sessione di misura. Il CSRS-PPP dichiara di utilizzare efemeridi del tipo Final, Rapid o Ultra Rapid che presentano i seguenti valori di accuratezza:

- FINAL ( $\pm 2$  cm), disponibili dopo 13-15 giorni dal rilievo a partire dalla fine della settimana in cui sono stati raccolti i dati;
- RAPID ( $\pm 5$  cm), disponibile a partire dal giorno successivo;
- ULTRA RAPID ( $\pm 15$  cm), disponibili ogni 90 minuti.

Per poter utilizzare il servizio è necessario registrarsi sul sito di Natural Resources Canada ed accettare i termini di licenza del Governo Canadese (Figura 5). Il servizio richiede alcune informazioni per il post-processamento: l'impostazione della modalità di rilievo (statica o cinematica) se utilizzare il sistema NAD83 (sistema di riferimento standard Canadese), inserendo l'epoca di riferimento, oppure il sistema globale ITRF che seleziona automaticamente l'epoca in base ai dati caricati e identifica la zona UTM sulla base del valore di longitudine.

## Precise Point Positioning

► [Help for CSRS PPP \(Updated 2017-01-26\)](#)

**Email for results (required)**

---

**Processing mode**

Static  Kinematic

**Epoch (Adopted)**

---

**Vertical datum**

**Contribute to passive control maintenance? ([what is this?](#))**  
 Authorize the Canadian Geodetic Survey (CGS) to archive and publish CSRS-PPP submission and solution

**Official marker station name**

► [More options](#)

---

**RINEX observation file (required) (.zip, .gzip, .gz, .Z, .??O)**

Nessun file selezionato.

Figura 5. Pagina di inserimento dati di CSRS-PPP

È inoltre necessario selezionare il tipo di datum verticale (CGDV28 o CGDV2013) e scegliere se autorizzare CSRS a salvare e pubblicare i dati caricati. Inoltre, è possibile aggiungere sotto la voce “more option” un file relativo all’Ocean Tidal Loading (OTL). Infine, è richiesto di fornire il file in formato RINEX versione 2. È’ possibile caricare un solo file per volta. I risultati dell’elaborazione vengono restituiti via email dopo circa 30 minuti.

### 3.1.2 Automatic Precise Positioning Service (APPS)

Il APPS è un servizio online gratuito fornito dal *Jet Propulsion Laboratory (JPL)* del *California Institute of Technology* della *USA National Aeronautics and Space Administration (NASA)*. Utilizza per l’elaborazione i prodotti del sistema Global Differential GPS System (GDGPS) di JPL e il software GIPSY-OASIS sviluppato dallo stesso JPL. Utilizza una ampia e diffusa infrastruttura geodetica (più di 200 stazioni distribuite su tutto il globo). Il GDGPS opera dal 2000 e dichiara il 99.999% di affidabilità con precisioni sotto i 10 cm ([https://apps.gdgps.net/apps/apps\\_file\\_upload.php](https://apps.gdgps.net/apps/apps_file_upload.php)). Il servizio (Figura 6) è utilizzabile senza registrazione dell’utente in una versione ridotta: è infatti possibile caricare un massimo di 5Mb e lavorare solo su rilievi in modalità statica. Per poter usufruire a pieno del servizio è necessario registrarsi al sito. Dopo l’identificazione dell’utente, alla voce del menu “Instant Positioning” è possibile utilizzare APPS. I dati richiesti per l’elaborazione sono la modalità di acquisizione, se statica o cinematica; il codice L1 (tra CA e P), se si intende utilizzare un modello di pressione atmosferica (per il calcolo del ritardo idrostatico e la modellizzazione della troposfera), il tipo di peso da assegnare ai dati di elevazione (flat, sin o sqrt). Tra le opzioni avanzate è possibile impostare il valore del “cutoff angle” e il “rate” di output espresso in secondi (opzione applicata solo per i rilievi

in modalità Kinematic). Si possono caricare un massimo di 10Mb per volta e i file devono essere in formato RINEX versione 2. È’ possibile caricare i file anche via ftp. Il risultato viene restituito dopo un paio di minuti direttamente sulla finestra di upload.

**Instant Positioning**

APPS Options	
Processing Mode	<input type="radio"/> Static <input checked="" type="radio"/> Kinematic
Measurement Type	<input type="radio"/> Single Frequency <input checked="" type="radio"/> Dual Frequency
Orbits/Clocks used	JPL Final: Data prior to 2018-04-21 JPL Rapid: Data from 2018-04-21 to 2018-04-25 JPL Ultra R/T: Data from 2018-04-25 to present
L1 Code	<input type="radio"/> CA Code <input checked="" type="radio"/> P Code
Model Pressure Data?	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
Elevation Dependent Data Weighting	<input checked="" type="radio"/> Flat <input type="radio"/> Sin <input type="radio"/> Sqrt(sin)
Advanced Options	<input type="text"/> Elevation Angle Cutoff <input type="text"/> Solution Output Rate (seconds)

Nessun file selezionato

\*A maximum of 10MB is allowed for upload.

Figura 6. Pagina di inserimento dati di APPS

### 3.1.3 AUSPOS Online GPS processing service

È un servizio online gratuito fornito dal governo australiano (<http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl>). La correzione delle coordinate dei ricevitori viene effettuata con un software molto rigoroso nella definizione dei parametri orbitali e in tutto quello che riguarda la modellizzazione di aspetti geodetici, il Bernese Software System. I parametri relativi ad orbita e orientamento della Terra sono ricavati dall'IGS e, come nel caso del CSRS-PPP, utilizzano le migliori effemeridi disponibili. Per il processamento, oltre alle stazioni IGS, vengono utilizzati quelli delle stazioni Asia-Pacific Reference Frame (APREF) come riferimento. È bene sottolineare che AUSPOS non fornisce un vero servizio PPP poiché la correzione dei dati viene realizzata unicamente in base alle stazioni IGS e APREF più vicine all'area di raccolta dati. Per l'utilizzo del servizio non è necessaria alcuna registrazione. È sufficiente inserire il modello e l'altezza strumentale dell'antenna oltre all'indirizzo email (Figura 7). I file devono essere in formato RINEX versione 2.11. È possibile caricare fino a 20 file per volta ma questi devono essere relativi ad un arco di tempo inferiore ai 7 giorni. Dopo conferma di ricezione dei dati da parte di AUSPOS, i risultati vengono inviati via email dopo circa 20 minuti (dipende dalla dimensione del file caricato).

Figura 7. Pagina di inserimento dati di AUSPOS

## 3.2 Stima delle posizioni

I servizi online citati in questo lavoro restituiscono le coordinate corrette della stazione che ha prodotto i dati oltre ad informazioni accessorie. Di seguito un breve riassunto dei dati restituiti da ognuno dei tre servizi.

### 3.2.1 Canadian Spatial Reference System (CSRS) Precise Point Positioning tool (CSRS-PPP)

I dati corretti vengono inviati dal CSRS-PPP via email. I risultati sono restituiti in una cartella compressa (.zip) contenente un file .pdf, un file .csv, un .txt e un .pos. Il file in formato pdf riporta il report della conversione con i dati di caratterizzazione del rilievo (ovvero durata, modalità, tipo di antenna, altezza antenna), le coordinate in WGS84, UTM e in ITRF2014 corrette (con i relativi valori di  $\sigma$  al 95%), oltre ai parametri stimati e alle osservazioni statistiche del rilievo (*pseudo-range residuals sky distribution, ellipsoidal heigh profile, latitude, longitude, height differences, zenith delay, ambiguities, tropospheric delay e phases residuals*). La cartella dei risultati comprende anche un file in formato .csv contenente latitudine, longitudine e altezza ellissoidica (gradi sessadecimali) di tutte le posizioni registrate dal ricevitore master durante la permanenza sulla stazione e il file riassuntivo di conversione in formato di testo (.txt).

### 3.2.2 Automatic Precise Positioning Service (APPS)

APPS restituisce l'elaborazione dopo pochi minuti dall'invio tramite reindirizzamento su una nuova pagina. Vengono immediatamente visualizzate le coordinate corrette in ITRF2008 e la localizzazione su mappa della stazione. È inoltre possibile scaricare da un link di download diretto una cartella compressa (in formato .tgz) contenete cinque file di

testo: file "ninjalog" con le caratteristiche che descrivono il rilievo, file "tdp" con le coordinate convertite nel formato proprio di GIPSY, file "sum" con il riassunto delle conversioni, con coordinate corrette sia cartesiane sia geografiche (WGS84) e i relativi valori di  $\sigma$ ; file log con le statistiche di conversione di GIPSY e una URL di Google Earth con le traiettorie del rilievo (solo in modalità Kinematic).

### 3.2.3 AUSPOS Online GPS processing service

AUSPOS restituisce un file in formato .pdf del report di conversione. Il report è strutturato in 5 sezioni: *User data, Processing Summary, Computed Coordinates, Ambiguity resolution, Computation Standards*. La prima sezione riporta i dati dell'utente e le informazioni di base del rilievo: altezza e tipo dell'antenna, durata del rilievo, numero di file inviati. La seconda sezione riporta le stazioni di riferimento utilizzate e la loro posizione (restituita graficamente). La sezione *computed coordinates* fornisce all'utente le coordinate corrette nei sistemi cartesiani ITRF2014 e GRS80, le quote ellissoidiche e geoidiche (conversione realizzata utilizzando il modello gravitazionale EGM2008, Pavlis et al. 2012). La sezione *ambiguity resolution* riporta i valori percentuali di ambiguità delle CORS, utilizzate per il processamento e la distanza tra stazione master e CORS (in chilometri). L'ultima sezione contiene le metodologie e gli standard applicati da AUSPOS per il processamento. La Tabella 1 riassume le principali caratteristiche dei tre servizi.

	CSRS-PPP	APPS	AUSPOS
Rinex versione	2.x	2.x	2.11
Dimensione file massima consentita	Non specificato	Non specificato	10 mb
Più di un file per volta	No	Sì	Solo ftp
ftp	No	Sì	Sì
Altezza strumentale	Rilevata automaticamente	Da impostare	Rilevata automaticamente
Modalità ponderazione in base all'elevazione	Non impostabile	Impostabile	Non impostabile
Cutoff angle	Non impostabile	Impostabile	Non impostabile
L1 code	Non impostabile	Impostabile	Non impostabile
Upload di un modello di pressione	Non possibile	Possibile	Non possibile
Risultato immediato	No	Sì	No
Registrazione necessaria per l'utilizzo	Sì	No	No
Tempo di risposta (minuti)*	20	3	20
Sistemi di riferimento della soluzione	ITRF2014 NAD83	ITRF2008	ITRF2014
Quote ortometriche	No	No	Sì
Report riassuntivo	Sì	No	Sì
Restituzione grafica statistiche conversione	Sì	No	Sì

Tabella 1. Principali caratteristiche dei tre servizi in esame.

\*calcolati su file di 10Mb

#### 4. RISULTATI: IL CONFRONTO DELLE SOLUZIONI OTTENUTE

I dati RINEX raccolti durante il rilievo topografico lungo il fiume Sirba sono stati processati con i tre diversi servizi online. Sono state necessarie alcune accortezze per la corretta elaborazione dei dati. I RINEX versione 3 sono stati convertiti con il software open source RTKLIB (<http://www.rtklib.com/>) in RINEX versione 2.11, inoltre è stato necessario ridurre l'intervallo di acquisizione da 1 secondo (frequenza di acquisizione di origine) a 5 secondi al fine di ottenere file di dimensione inferiore a 10 Mb, come richiesto dal servizio APPS. CSRS-PPP ha richiesto per il processamento circa 15 minuti per ogni file. Tempi di analisi simili sono stati impiegati da AUSPOS. APPS, invece, ha fornito le coordinate corrette dopo due minuti dall'upload dei dati grezzi. Al fine di analizzare le accuratezze dei risultati ottenuti di seguito si prendono in considerazione i valori di *sigma al 95%* forniti dai tre servizi in esame e la differenza di coordinate tra CSRS-PPP e i due servizi PPP rimanenti per 4 dei 18 punti analizzati: raccolti le stazioni 02, 09, 14 e 18 (Tabella 2). Sono stati scelti punti che si differenziano per posizione e data di acquisizione per analizzare un campione rappresentativo del dataset. Inoltre, i dati RINEX delle stazioni in analisi sono stati convertiti in RINEX versione 2.11 e con i periodi di posizione della stazione sono stati ridotti a 1 ora e a mezz'ora. Successivamente i dati con tempo di acquisizione ridotto a mezz'ora e un'ora sono stati tra loro confrontati per verificare l'influenza della durata della sessione sulla precisione dei sistemi di conversione. I tempi di stazione originali sono riportati nella Tabella 2.

Stazione	Data acquisizione	Tempo di acquisizione
02	12-02-2018	1h 50m 56.00s
09	20-02-2018	2h 47m 39.00s
14	19-02-2018	2h 47m 16.00s
18	18-02-2018	3h 22m 50.00s

Tabella 2. Sessioni di acquisizione per le stazioni selezionate

La Tabella 3 riporta la differenza tra i valori ottenuti da CSRS-PPP e APPS ( $\Delta_{\text{CSRS-APPS}}$ ) e la differenza tra i valori ottenuti da CSRS-PPP e AUSPOS ( $\Delta_{\text{CSRS-AUSPOS}}$ ), calcolati come la differenza tra le coordinate processate da CSRS-PPP e quelle da APPS e le differenze tra le coordinate CSRS-PPP e AUSPOS. Le differenze nelle quattro stazioni in esame non superano mai i 6,7 cm (valore massimo registrato sulla differenza di longitudine tra CSRS e AUSPOS del punto 02, -0.067).  $\Delta_{\text{CSRS-APPS}}$  e  $\Delta_{\text{CSRS-AUSPOS}}$  mostrano valori vicini sia in latitudine che in longitudine sui punti 18, 14 e 09. Il punto di stazione 02 (con tempo di occupazione inferiore) mostra invece valori distanti sia in longitudine che in quota. Le differenze in quota non superano i 3 cm e hanno valore minimo di 1 mm.

Servizio PPP	UTM 31N	STAZIONE			
		02	18	14	09
$\Delta_{\text{CSRS-APPS}}$ [m]	est	0.012	0.012	-0.026	-0.012
	nord	0.008	-0.003	0.011	0.005
	H <sub>ellipsoid</sub>	0.024	-0.001	0.015	-0.008
$\Delta_{\text{CSRS-AUSPOS}}$ [m]	est	-0.067	0.022	-0.013	-0.008
	nord	0.001	-0.002	0.004	0.002
	H <sub>ellipsoid</sub>	-0.029	-0.006	0.009	-0.023

Tabella 3. Differenze tra coordinate (m) corrette CSRS, APPS e AUSPOS in WGS84/UTM-31N dei punti di rilievo 02, 18,14, 09

Per quanto riguarda i valori di sigma al 95% calcolati dai tre servizi sulle coordinate, abbiamo valori simili tra CSRS-PPP Canada e AUSPOS, sia sui valori di latitudine (0.010m circa) che sui valori altimetrici (0.04 cm). mentre i valori forniti da APPS sono generalmente minori di 2 cm in media rispetto ai corrispettivi degli altri due servizi. I valori di sigma maggiori sono registrati da AUSPOS sulle quote e arrivano fino a 0,074 m per il punto 02, caratterizzato da un'occupazione di appena 1 ora e 50 minuti (Tabella 4). In generale i risultati ottenuti sono sufficientemente precisi, anche se i valori di incertezza sulle quote raggiungono quasi i 5 cm sul punto 02 calcolato da CSRS e sul punto 09 calcolato da AUSPOS. Al fine di analizzare l'influenza della durata della sessione sulla prestazione della tecnica PPP, i RINEX corrispondenti ai punti 02, 18, 14, e 09 sono stati ridotti ad 1 ora e 30 minuti di stazione con il software RTKLIB. Nella Tabella 5 sono riportati i valori di incertezza ottenuti (significatività pari a 95%). Le soluzioni fornite dai servizi CSRS e AUSPOS mostrano i valori più alti, fino a 0.612 m per la quota del punto 02 calcolato da AUSPOS (0.5 m di differenza rispetto al valore calcolato su 1 ora e 50 minuti di occupazione della stazione). Per questi valori AUSPOS avvisa che il valore di sigma è oltre il 95% ed invita l'utente ad utilizzare la soluzione fornita con precauzione. I valori di sigma delle elaborazioni di CSRS e AUSPOS superano i 0.095 m per le quote di tutte soluzioni, mostrando scarsa attendibilità. I valori di z calcolati su 1 ora e 30 minuti si discostano tra loro di valori che raggiungono i 10 cm.

Servizio PPP	UTM 31N	STAZIONE			
		02 sigma	18 sigma	14 sigma	09 sigma
CSRS [m]	est	0.027	0.019	0.016	0.026
	nord	0.011	0.005	0.008	0.009
	H <sub>ellipsoid</sub>	0.048	0.027	0.040	0.041
APPS [m]	est	0.003	0.002	0.002	0.002
	nord	0.003	0.002	0.002	0.002
	H <sub>ellipsoid</sub>	0.014	0.008	0.009	0.010
AUSPOS [m]	est	0.045	0.010	0.011	0.011
	nord	0.014	0.008	0.009	0.009
	H <sub>ellipsoid</sub>	0.074	0.036	0.042	0.046

Tabella 4. Valori di sigma al 95% di significatività (m) con permanenza della stazione master relativa all'intera occupazione

Nella Tabella 6 sono riportate le differenze di coordinata nel sistema WGS84/UTM-31N per le stazioni campione con tempo di permanenza di 1 ora. I risultati ottenuti raggiungono valori di differenza molto alti, in particolare sulle quote, che raggiungono i 17 cm su  $\Delta_{\text{CSRS-AUSPOS 1h}}$  per il punto 09. Nella Tabella 7 sono riportate le soluzioni ottenute con tempo di permanenza della base di 30 minuti. AUSPOS non ha restituito risultati: la durata di permanenza minima richiesta è di un'ora. Al confronto CSRS-PPP mostra valori molto alti nella componente longitudinale e altimetrica che rendono l'elaborazione proposta non sufficientemente precisa. Un trend simile è riscontrabile nei valori di incertezza associati a latitudine e longitudine delle soluzioni APPS, seppur notevolmente più bassi. La differenza tra le coordinate calcolate da CSRS-PPP con occupazione di mezz'ora e quella calcolate da APPS mostrano differenze contenute.

Servizio PPP	UTM 31N	STAZIONE 1h			
		02	18	14	09
CSRS [m]	est	0.069	0.087	0.058	0.056
	nord	0.028	0.025	0.023	0.024
	H <sub>ellis</sub>	0.104	0.099	0.110	0.129
APPS [m]	est	0.007	0.041	0.029	0.028
	nord	0.005	0.011	0.010	0.012
	H <sub>ellis</sub>	0.030	0.067	0.070	0.054
AUSPOS [m]	est	0.261	0.031	0.086	0.062
	nord	0.180	0.020	0.021	0.057
	H <sub>ellis</sub>	0.612	0.098	0.130	0.141

Tabella 5. Valori di sigma al 95% di significatività (m) con permanenza della stazione master ridotto a un'ora

Servizio PPP	UTM 31N	STAZIONE 1h			
		02	18	14	09
$\Delta$ CSRS-APPS 1h [m]	est	0.019	-0.024	-0.004	0.025
	nord	0.006	0.006	0.010	0.001
	H <sub>ellis</sub>	0.013	0.101	0.12	-0.010
$\Delta$ CSRS-AUSPOS 1h [m]	est	0.000	-0.018	0.052	0.290
	nord	-0.024	0.005	0.018	-0.020
	H <sub>ellis</sub>	-0.094	0.100	0.169	-0.173

Tabella 6. Differenze tra coordinate corrette (m) calcolate da CSRS, APPS e AUSPOS in WGS84/UTM-31N dei punti di rilievo 02, 18,14, 09 con permanenza di un'ora

Servizio PPP	UTM 31N	STAZIONE 0,5h			
		02	18	14	09
CSRS [m]	est	0.165	0.215	0.155	0.149
	nord	0.072	0.068	0.060	0.061
	H <sub>ellis</sub>	0.202	0.260	0.245	0.362
APPS [m]	est	0.069	0.099	0.076	0.124
	nord	0.035	0.031	0.028	0.042
	H <sub>ellis</sub>	0.087	0.167	0.151	0.272
AUSPOS [m]	est				
	nord				
	H <sub>ellis</sub>				

Tabella 7. Valori di sigma al 95% di significatività (m) con permanenza della stazione master ridotto a mezz'ora

In alcuni casi i valori sono di pochi millimetri (vedi le differenze in latitudine per il punto di stazione 18). Fanno eccezione le differenze sulle quote dei punti 18 e 14 che arrivano fino circa 25 cm (Tabella 8).

Servizio PPP	UTM 31N	STAZIONE 0,5h			
		02	18	14	09
$\Delta$ CSRS - APPS 0,5 h[m]	est	0.039	0.016	-0.031	-0.013
	nord	-0.010	0.002	-0.008	0.006
	H <sub>ellis</sub>	0.016	0.247	0.139	0.043

Tabella 8. Differenze tra coordinate corrette (m) calcolate da CSRS, APPS e AUSPOS in WGS84/UTM 31N dei punti di rilievo 02, 18,14, 09 con occupazione di mezz'ora

## 5. CONCLUSIONI

I tre servizi risultano essere performanti per le correzioni di dati raccolti RTK in modalità master-rover si sono rivelate soluzioni efficaci per il trattamento di dati raccolti in ambienti critici. APPS fornisce i valori più precisi ed è particolarmente rapido. Inoltre consente di analizzare grandi quantità di dati (per tale motivo il servizio viene fornito anche per scopi industriali) caricando i file attraverso un collegamento ftp fornito dal JPL (opzione non testata in questo contributo). D'altra parte APPS ha un'interfaccia che potrebbe risultare complicata e i risultati forniti non sono di immediata comprensione a causa della mancanza di un report riassuntivo e l'utilizzo di formati proprio del software GIPSY. Nonostante ciò sembra essere il più affidabile per occupazioni anche molto brevi. CSRS-PPP è un servizio ormai esistente dal 2003 ed è rapido e funzionale, il procedimento di upload è semplice e intuitivo. I risultati sono facilmente comprensibili e forniti in diversi formati. AUSPOS è un servizio di facile utilizzo. I dati richiesti per l'elaborazione sono pochissimi e i tempi di restituzione equivalgono a quelli di CSRS-PPP. I risultati forniti sono facilmente interpretabili, sono previsti messaggi di avvertenza in caso di scarsa affidabilità dei dati ricevuti. Inoltre fornisce le altezze ortometriche, dato che può rivelarsi molto utile, soprattutto per le zone in cui non esiste un modello di geoide locale (come in Niger), tuttavia è meno preciso in caso di brevi tempi di stazionamento. In conclusione, indicativamente APPS è il servizio che fornisce i valori con precisioni più alte, seguito da CSRS-PPP che garantisce buone performance anche con tempi di stazione di appena un'ora e infine AUSPOS, che nonostante i valori di sigma più alti già per un'ora di stazione, è molto intuitivo.

Nel caso del Niger, e del progetto ANADIA II si è ricorso al servizio canadese CSRS-PPP, che seppur meno preciso di APPS, fornisce statistiche esaustive riguardanti le correzioni. I risultati ottenuti hanno precisioni sulle quote di  $\pm 4$  cm, valore che soddisfa le necessità del progetto ANADIA II in Niger. Inoltre, le 18 stazioni di coordinate note e corrette utilizzate per il rilievo potrebbero costituire la base per una futura rete di inquadramento locale. In conclusione, il PPP si è dimostrato una soluzione efficace, efficiente ed economica per la realizzazione di rilievi di precisione in aree critiche come quelle sub-sahariane.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i tecnici nigerini degli uffici ministeriali responsabili di meteorologia e risorse idriche che hanno partecipato attivamente ai rilievi di campo, apprezzando le potenzialità del RTK.

## BIBLIOGRAFIA

Grejner-Brzezinska, D. A., Kashani, I., Wielgosz, P., Smith, D. A., Spencer, P. S., Robertson, D. S., and Mader, G. L. 2007, Efficiency and reliability of ambiguity resolution in network-based real-time kinematic GPS, *Journal of Surveying Engineering*, 133(2), pp. 56-65.

Eren K., Uzel T., Gulal E., Yildirim O., Cingoz A. 2009, Results from a Comprehensive Global Navigation Satellite System Test in the CORS-TR Network: Case Study, *Journal of Surveying Engineering*, 135(1), pp. 10-18.

Kouba, J. e Héroux, P. 2001, Precise point positioning using IGS orbit and clock products, *GPS solutions*, 5(2), pp. 12-28.

Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C. and Factor, J. K. 2012, The development and evaluation of the Earth

Gravitational Model 2008 (EGM2008), *Journal of geophysical research: solid earth*, 117(B4).

Rizos, C. 2007, Alternatives to current GPS-RTK services and some implications for CORS infrastructure and operations, *GPS solutions*, 11(3), pp. 151-158.

Mireault, Y., Tétreault, P., Lahaye, F., Héroux, P., and Kouba, J. 2008, Online precise point positioning, *GPS World*, 19(9), pp. 59-64.

#### **SITOGRAFIA**

Automatic Precise Positioning Service of the Global Differential GPS (GDGPS) System website, <http://apps.gdgps.net/index.php> (11 Maggio 2018)

Geoscience Australia website, <http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl> (11 Maggio 2018)

International GNSS Service (IGS) website, <http://www.igs.org/network> (11 Maggio 2018)

Natural Resource Canada website <http://www.nrcan.gc.ca/home> (11 Maggio 2018)