

2. - QUADRO CONOSCITIVO DELLA VALLE DELL'ARNO

2.1. - ASPETTI GENERALI

Il Fiume Arno nasce nell'Appennino tosco-emiliano dal versante meridionale del M.te Falterona (1654 m s.l.m.), da dove defluisce verso sud-ovest, fino a sfociare nel Mar Ligure dopo un tortuoso percorso di 242 km (fig. 2). L'Arno è uno dei più importanti fiumi d'Italia, sia perché rappresenta per estensione il quinto bacino idrografico nazionale e il settimo per lunghezza, sia per gli aspetti storico-culturali ad esso collegati. Il bacino si estende su un'area che comprende prevalentemente la Regione Toscana (98.4%), secondariamente la Regione Umbria (1.6%) bagnando le province di Arezzo, Firenze, Prato, Pistoia, Pisa e molto marginalmente quelle di Siena, Lucca, Livorno e Perugia.

Il bacino imbrifero ha una superficie di 8228 km², di cui il 55.3% è a quote inferiori ai 300 m s.l.m., mentre il 30.4% è racchiuso fra 300 e 600 m ed il 9.8% tra i 600 e i 900 m. Le maggiori altitudini di alimentazione sono localizzate nel tratto iniziale del corso, in particolare nel gruppo montuoso del Falterona e del Pratomagno, con le vette rispettivamente di M.te Falco (1657 m) e del Poggio Uomo di Sasso (1537 m).

Il Capo d'Arno, situato a quota 1385 m s.l.m., viene alimentato dalle numerose sorgenti presenti nell'area casentinese, le quali vengono raccolte in un alveo a carattere torrentizio fino in prossimità di Stia, località situata a quota 440 m s.l.m. Dopo il primo tratto montano, l'Arno lascia lo stretto bacino del Casentino e si immette nella Piana di Arezzo dove, a 60 km dalla sorgente, riceve le acque del Canale della Chiana. Proseguendo, e dopo aver disegnato un ampio arco, il corso naturale dell'Arno è interrotto da due sbarramenti artificiali consecutivi che formano gli invasi di La Penna e Levane, entrambi sfruttati da piccole centrali idroelettriche. Quindi entra nel bacino del Valdarno Superiore, dirigendosi verso nord-ovest e ricevendo in sinistra le acque del Fiume Ambra. A Pontassieve, dopo aver tagliato il proseguimento settentrionale della dorsale del Pratomagno e dopo la confluenza in destra del Fiume Sieve, suo principale affluente che raccoglie le acque del Bacino del Mugello,

Tab. 3 - *Composizione chimica media dei maggiori fiumi del mondo. Il termine "naturale" è riferito al valore corretto a meno del contributo antropico. Il termine "reale" è riferito al valore misurato includendo il contributo antropico. Le concentrazioni sono espresse in mg/L (modificata da BERNER & BERNER, 1996).*

- Mean chemical composition of some major world rivers; "naturale" is referred to the natural concentrations corrected for pollution, whereas "reale" is referred to the actual concentrations, including pollution. Concentrations are reported in mg/L (modified from BERNER & BERNER, 1996).

| FIUME | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | SiO ₂ | TDS |
|------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|-------|
| Africa: | | | | | | | | | |
| Reale | 5.7 | 2.2 | 4.4 | 1.4 | 4.1 | 4.2 | 26.9 | 12 | 60.5 |
| Naturale | 5.3 | 2.2 | 3.8 | 1.4 | 3.4 | 3.2 | 26.7 | 12 | 57.8 |
| Asia: | | | | | | | | | |
| Reale | 17.8 | 4.6 | 8.7 | 1.7 | 10 | 13.3 | 67.1 | 11 | 134.6 |
| Naturale | 16.6 | 4.3 | 6.6 | 1.6 | 7.6 | 9.7 | 66.2 | 11 | 123.5 |
| Sud America: | | | | | | | | | |
| Reale | 6.3 | 1.4 | 3.3 | 1 | 4.1 | 3.8 | 24.4 | 10.3 | 54.6 |
| Naturale | 6.3 | 1.4 | 3.3 | 1 | 4.1 | 3.5 | 24.4 | 10.3 | 54.3 |
| Nord America: | | | | | | | | | |
| Reale | 21.2 | 4.9 | 8.4 | 1.5 | 9.2 | 18 | 72.3 | 7.2 | 142.6 |
| Naturale | 20.1 | 4.9 | 6.5 | 1.5 | 7 | 14.9 | 71.4 | 7.2 | 133.5 |
| Europa: | | | | | | | | | |
| Reale | 31.7 | 6.7 | 16.5 | 1.8 | 20 | 35.5 | 86 | 6.8 | 212.8 |
| Naturale | 24.2 | 5.2 | 3.2 | 1.1 | 4.7 | 15.1 | 80.1 | 6.8 | 140.3 |
| Oceania: | | | | | | | | | |
| Reale | 15,2 | 3.8 | 7.6 | 1.1 | 6.8 | 7.7 | 65.6 | 16.3 | 125.3 |
| Naturale | 15 | 3.8 | 7.6 | 1.1 | 5.9 | 6.5 | 65.1 | 16.3 | 120.3 |
| Media Mondiale: | | | | | | | | | |
| Reale | 14.7 | 3.7 | 7.2 | 1.4 | 8.3 | 11.5 | 53 | 10.4 | 110.1 |
| Naturale | 13.4 | 3.4 | 5.2 | 1.3 | 5.8 | 8.3 | 52 | 10.4 | 99.6 |

l'Arno volge verso est ed entra nella Piana di Firenze. Da qui, il fiume riceve in sinistra le acque della Greve ed in destra quelle del Bisenzio e dell'Ombrone Pistoiese. Quindi, dopo aver tagliato anche la dorsale appenninica del M.te Albano, dopo Montelupo riceve da sinistra le acque della Pesa, dell'Elsa, dell'Egola e dell'Era, mentre a destra le acque del Canale Usciana, emissario del Padule del Fucecchio, in cui confluiscono i tributari della Valdinevole. Dopo Pontedera, ormai rallentato e contenuto in potenti argini di protezione, l'Arno scorre disegnando una serie di ampi meandri. Da qui alla foce il reticolo idrografico della piana di Pisa è in gran parte costituito da canali artificiali, in parte drenati dal cosiddetto Canale Scolmatore, che ha il suo incile presso Pontedera e la sua foce poco a nord di Livorno, dopo un percorso di 28.5 km. Infine, dopo 242

km l'Arno sfocia nel Mar Tirreno a Marina di Pisa, delimitando a nord la riserva naturalistica di San Rossore (fig. 3).

2.2. - SUDDIVISIONE IDROGRAFICA

Il Bacino dell'Arno viene comunemente suddiviso in sei sottobacini principali che, da est ad ovest sono: il *Casentino*, la *Val di Chiana*, la *Val di Sieve*, il *Valdarno Superiore*, il *Valdarno Medio* ed il *Valdarno Inferiore* (fig. 3). La tabella 4 ne riassume alcune delle principali caratteristiche idrografiche.

Il sottobacino del *Casentino* comprende l'alto bacino dell'Arno, da Capo D'Arno fino alla confluenza con la Chiana, ed è compreso tra la dorsale appenninica e quella del Pratomagno. Ha una superficie di 883 km², con una pendenza media dei

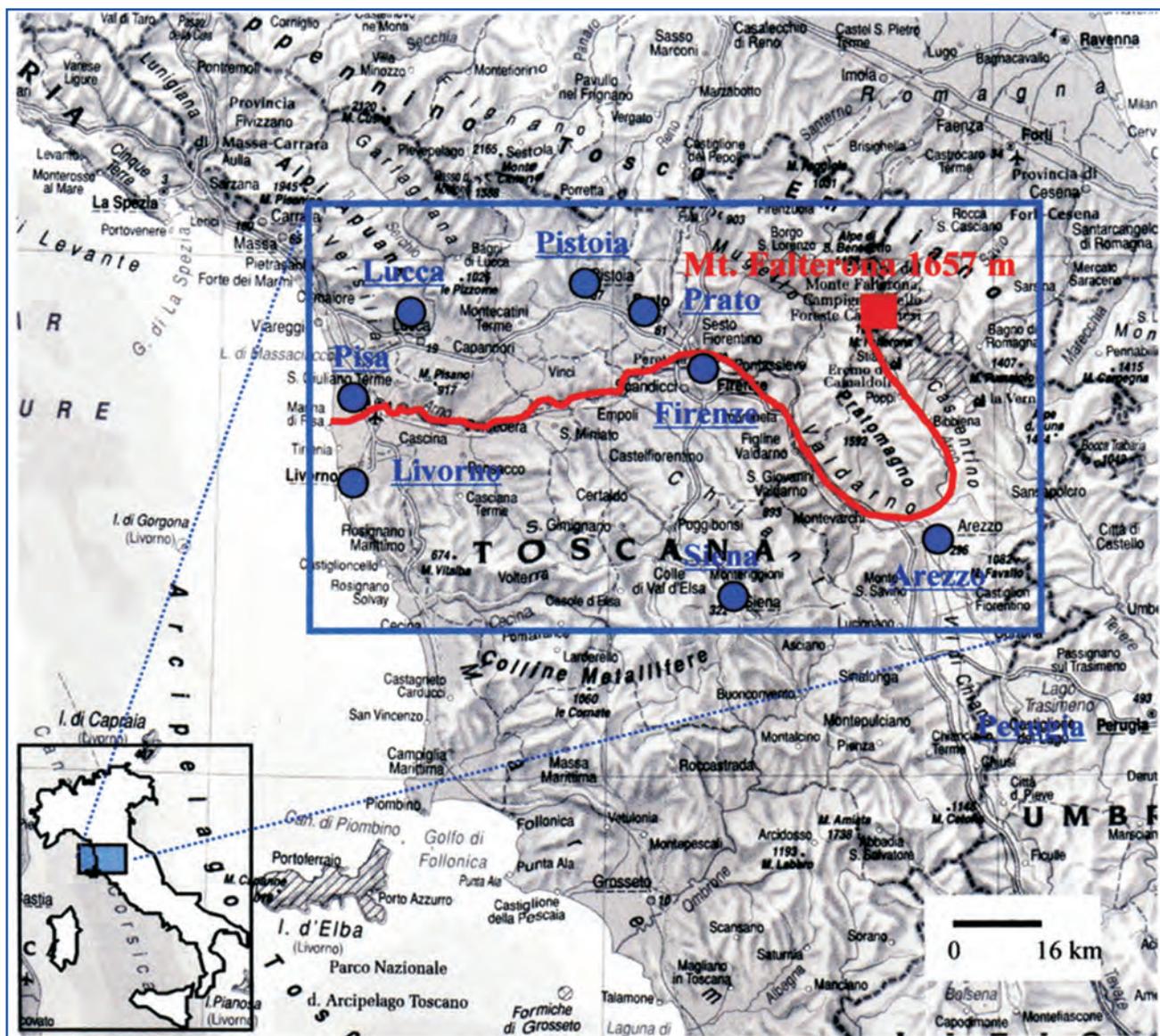


Fig. 2 - Ubicazione del Bacino dell'Arno (modificato da Atlante Geografico del Mondo, 1998).
 - Location of the Arno Basin (modified from Atlante Geografico del Mondo, 1998).

versanti del 7.3% nel primo tratto della sorgente sino a Stia, e dello 0.55% da Stia a Subbiano (BILLI et alii, 1989). Numerosi sono gli affluenti a carattere torrentizio che drenano questo sottobacino.

La *Val di Chiana* comprende un'area pianeggiante con deboli rilievi morfologici, che si estende per circa 1368 km² con un'altitudine media di 337 m.s.l.m. (<http://www.adbarno.it>). Anticamente paludosa, è stata bonificata prima dagli aretini nel 1300 e successivamente dai Medici alla fine del '500. I lavori hanno portato alla sua suddivisione tra il Bacino dell'Arno e quello del Tevere mediante il Canale della Chiana. Il canale raccoglie tutte le acque del reticolo idrografico di questo sottobacino confluendo poi in Arno all'altezza di Ponte a Buriano (fig 3).

Il sottobacino del *Valdarno Superiore* è una lunga e stretta pianura racchiusa ad est dai rilievi del Pratomagno e ad ovest dai M.ti del Chianti. La sua estensione è di 984 km², con una pendenza media dell'Arno dello 0.25%. Nel tratto più meridionale sono ubicati gli sbarramenti idroelettrici di La Penna e Levane, a quota rispettivamente di 206 e 169 m s.l.m., con capacità totali degli invasi, rispettivamente di 16 e di 4.9 milioni di m³ (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ARNO, 1998). Nel Valdarno Superiore non ci sono fiumi importanti, l'unico affluente di un certo rilievo è il Fiume Ambra.

La *Val di Sieve* comprende un'area delimitata dalla dorsale Appenninica a nord ed i contrafforti del Mugello, con una superficie di 843 km²

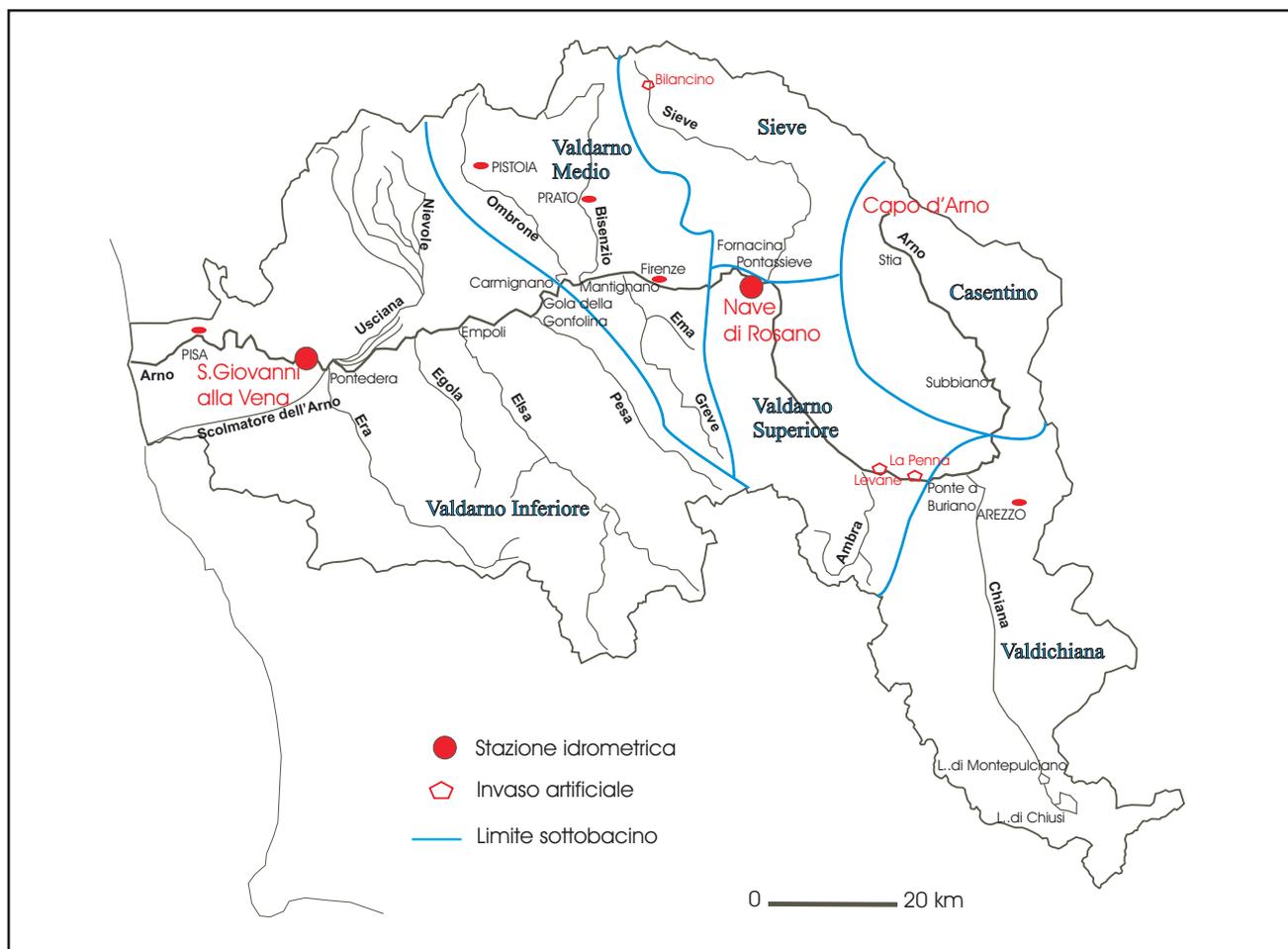


Fig. 3- Mappa del Bacino e sottobacini dell'Arno, tributari maggiori e principali città.
 - Map of the Arno Basin with the 6 sub-basins that characterize the area under study; the main cities and the major tributaries are also reported.

(<http://www.adbarno.it>). La sorgente da cui si origina il Fiume Sieve (Capo Sieve) si trova nel Comune di Barberino di Mugello sulle pendici del Monte Cuccoli ad una quota di 633 m s.l.m. Il corso della Sieve misura 60 km, con un'elevazione media di 490 m s.l.m. (ARPAT, 1998). Lungo il corso si situa la diga di Bilancino, con una capacità di invaso di 84 milioni di m³ (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ARNO, 1998). La Sieve raccoglie numerosi affluenti prima di confluire in Arno all'altezza di Pontassieve (Fig. 3); le sue portate più elevate possono superare i 1000 m³/sec. (ARPAT, 1998) e durante l'alluvione del 1966 la Sieve scaricava in Arno le sue acque con una portata di 1340 m³/sec.

Convenzionalmente, il limite del sottobacino del Valdarno Medio inizia a valle di Pontassieve (Fig. 3) e si estende su di una superficie di 1375 km². Al suo interno sono compresi i sottobacini del Fiume Bisenzio e del Fiume Ombrone in riva destra, e della Greve e dell'Ema in sinistra. Il Fiume Bisenzio ha una lunghezza d'asta di 49 km

ed un bacino imbrifero di 242 km², di cui 150 Km² costituiscono la parte a nord di Prato (ARPAT, 1998). Il suo regime è tipicamente torrentizio con una portata media di 4.1 m³/anno (ARPAT, 1998). L'Ombrone Pistoiese si immette in Arno poco a valle del Bisenzio nei pressi del Comune di Carmignano; ha un'estensione di bacino di 489 km² ed una lunghezza dell'asta di 41 km. Il Fiume Greve prende origine da due sorgenti principali: la Fonte di Poggio alle Coste e la Fonte del Topo, entrambe situate nel Comune di Greve in Chianti; ha un bacino imbrifero di 283 km² con lunghezza del corso di 45 km (ARPAT, 1998). La portata della Greve presenta una grande variabilità tra il periodo di magra e quello di morbida: nel periodo estivo spesso il fiume in alcuni tratti risulta in secca, mentre nel periodo invernale si rileva una buona portata. Il suo principale affluente, il Torrente Ema, si origina nel Chianti dalle pendici di tre poggi (Croce, Citerna e Tondo), ha una lunghezza di 27 km ed un'estensione del bacino imbrifero pari a 121 km² (ARPAT, 1998).

Tab. 4 - *Caratteristiche idrografiche del Bacino dell'Arno e dei suoi sottobacini (da Autorità di Bacino del Fiume Arno, 2001)*

- Hydrographic features of the main and secondary basins (from Autorità di Bacino del Fiume Arno, 2001)

| | |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| Superficie totale del bacino | 9.116 km² |
| Superficie dei sottobacini: | |
| Casentino | 895 km ² |
| Val di Chiana | 1362 km ² |
| Valdarno Superiore | 997 km ² |
| Sieve | 846 km ² |
| Valdarno Medio | 1375 km ² |
| Valdarno Inferiore | 3641 km ² |
| Lunghezza asta principale | 241 |
| Pendenza media asta | 0.5-0.6% |
| Quota media bacino | 353 m.s.l.m. |
| Superficie permeabile del bacino | < 5% |
| Superficie agraria utilizzata | 431488 ha |
| Superficie boschiva | 350000 ha |
| Superficie irrigata | 25000 ha |
| Fabbisogno idrico complessivo | 600000000 m ³ |
| Fabbisogno idrico per uso industriale | 305300000 m ³ |
| Popolazione (Istat 1991) | 2581369 |
| Densità | 314 ab/km ² |
| Comuni ricadenti nel bacino | 163 |
| Portata media a S. Giovanni alla Vena | 90 m ³ /sec |
| Portata media a Nave di Rosano | 50 m ³ /sec |

Il Valdarno Inferiore è caratterizzato sulla riva sinistra dalla presenza di grandi vallate in cui scorrono i fiumi Pesa, Elsa, Egola ed Era, mentre sulla destra dalle estese pianure bonificate del cosiddetto Padule di Fucecchio, le cui acque canalizzate confluiscono in Arno tramite il Canale Usciana. Con una pendenza media di 0.03% (BORSELLI *et alii*, 1981), il Valdarno Inferiore si estende per 2767 km², rappresentando quasi 1/3 dell'intero Bacino dell'Arno. Il Fiume Pesa nasce alle falde del Monte S. Michele (Chianti), ha un bacino di forma fortemente allungata, con una superficie di 339 km² ed una lunghezza d'asta di 48 km. Il regime è decisamente torrentizio, con massimi di portata nel periodo novembre-aprile, e minimi in agosto-settembre; nel tratto terminale del bacino, nel periodo

di magra, il fiume è spesso in secca. L'Elsa nasce sulle falde del Monte Maggio ed ha una superficie imbriferica di 876 km² e lunghezza d'asta di 72 km. Pur avendo una portata di magra estiva relativamente elevata, dovuta alla buona alimentazione assicurata per il 12% da sorgenti perenni (LA RUFFA & PANICHI, 2000), il regime del fiume ha un carattere torrentizio. Confluisce in Arno poco a valle di Empoli, con una portata media annua stimata in 5.48 m³/sec (PULSELLI & BAGATO, 1976). L'Egola ha un bacino imbrifero di circa 113 km² ed una lunghezza di 28.7 km; nasce a nord del Comune di Montaione e confluisce in Arno da sinistra. L'Era, che sbocca in Arno in prossimità di Pontedera, ha una superficie di bacino pari a 591 km² ed una lunghezza di circa 56 km. E' il più valloso tra gli affluenti dell'Arno in questa parte del bacino, ed il suo regime è fortemente torrentizio, immettendosi in Arno con portate relativamente basse, 0.3 m³/sec in agosto e 34 m³/sec in dicembre. Il Canale Usciana ha un bacino imbrifero di 486 km² e sfocia in Arno poco a est di Pontedera. Come detto, è un emissario artificiale realizzato nel 1934 al fine di bonificare e regimare le acque del Padule di Fucecchio, che rappresentava la parte più depressa della Valle del Fiume Nievole. Nella parte terminale il Canale Usciana viene affiancato in sinistra da due ulteriori canali: il Collettore e l'Antifosso. Questi confluiscono nel Collettore Maggiore, rispettivamente a monte e a valle delle paratoie "Le Cateratte", poste in prossimità della confluenza in Arno. Al fine di favorire il deflusso delle acque del canale anche durante le piene dell'Arno, è stata completata nel 1987 una diramazione dell'Usciana che porta direttamente al canale scolmatore di Pontedera, attraverso una botte a sifone che sottopassa l'Arno (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ARNO, 1998).

2.3. - LINEAMENTI STRUTTURALI

Il bacino di drenaggio del Fiume Arno, all'interno della catena nord Appenninica, è composto da unità tettoniche prevalentemente sedimentarie messi in posto durante il Miocene (Tortoniano Superiore) sotto un regime compressivo, seguito da una fase distensiva tuttora in atto.

L'Appennino, in particolare quello settentrionale, costituisce un orogene strutturalmente complesso i cui primi movimenti sono iniziati nel Cretaceo. In questo periodo, infatti, ebbe inizio la fase oceanica di convergenza durante la quale, in conseguenza dell'apertura dell'Atlantico Settentrionale, l'Africa modificò la traiettoria del suo movimento di deriva da ESE a NNE, decisamen-

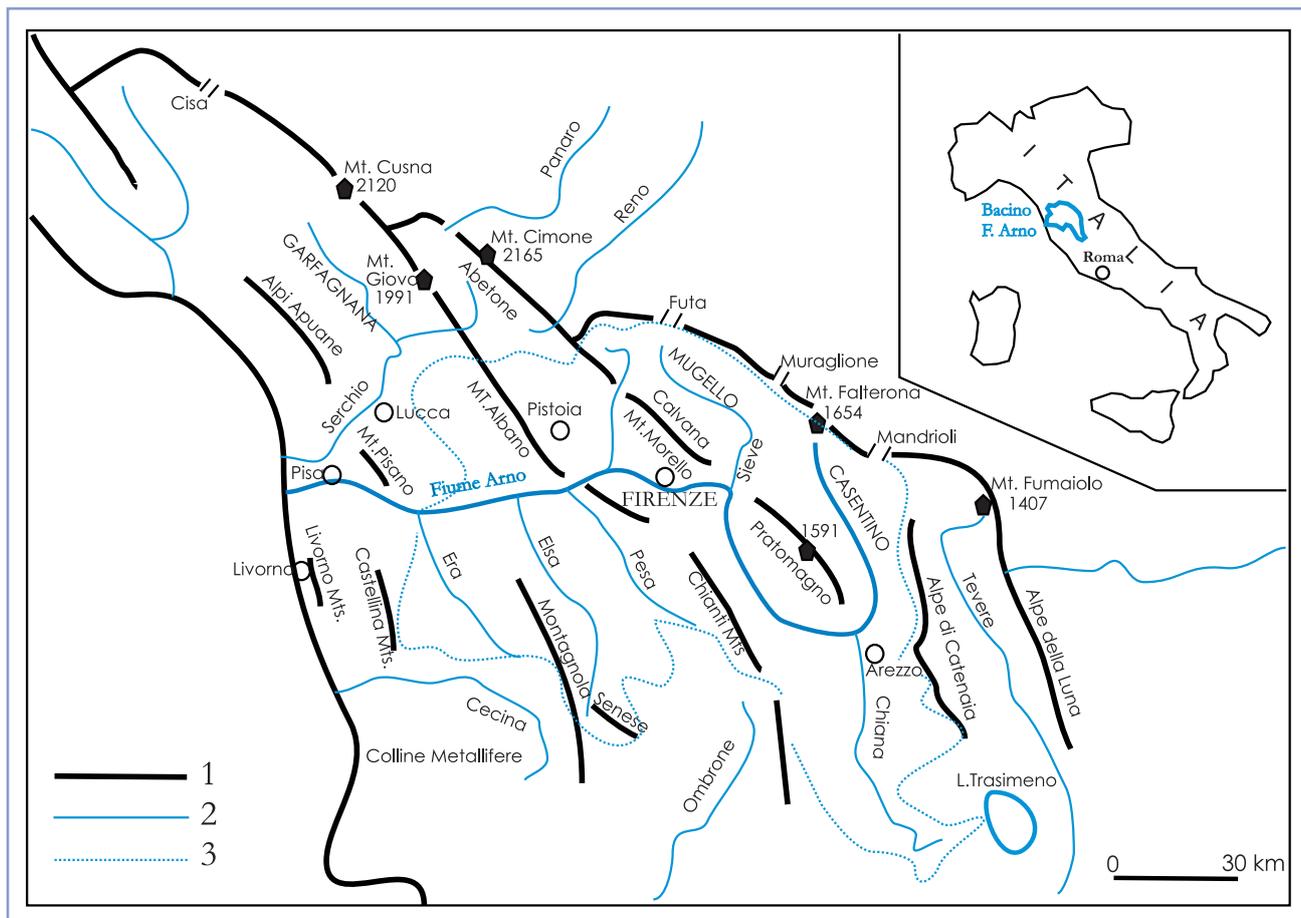


Fig. 4 - Principali caratteristiche strutturali nel Bacino dell'Arno. 1. Dorsali montuose principali. 2. Reticolo idrografico principale. 3. Bacino dell' Arno (modificata da CANUTI *et alii*, 1994).

- Physiographic sketch of the drainage Basin of the River Arno showing the main ridges and valleys. 1 - main ridges; 2 - main rivers; 3 - Arno Valley watershed (modified from CANUTI *et alii*, 1994).

te verso l'Europa. Questo regime compressivo iniziale provocò la consunzione dell'Oceano Ligure (un bacino oceanico orientato SW-NE che separava l'Europa e l'Iberia) fino alla sua totale chiusura e subduzione nell'Eocene Medio (e.g. SESTINI, 1970; BOCCALETTI *et alii*, 1971, 1980; 1997; GIANNINI *et alii*, 1971; SERRI *et alii* 1993; ABBATE *et alii*, 1994; DI BUCCI & MAZZOLI, 2002; CERRINA *et alii*, 2004). Si venne così a formare, in corrispondenza del margine attivo europeo (Blocco Sardo-Corso), un impilamento per sottoscorrimento verso ovest delle coperture oceaniche (Unità Liguri) e di parte del loro basamento. Nell'Eocene Medio-Superiore seguì quindi la collisione tra il Blocco Corso-Sardo e quello Adriatico, che dette inizio alla fase ensialica dell'orogenesi appenninica, sviluppatasi a spese del margine continentale adriatico (Placca Adria). In questa fase si sviluppò una tettonica a thrust e falde, con sottoscorrimento verso ovest delle cosiddette Unità Sedimentarie Toscane prima e quindi di quelle Umbro-Marchigiane poi, al di

sotto delle Unità Liguri già precedentemente impilate. Le Unità Toscane (Falda Toscana e Unità Cervarola-Falterona) più profondamente sepolte acquisirono in questa fase un debole metamorfismo in facies di Scisti Verdi (Unità Toscane Metamorfiche) (BOCCALETTI *et alii*, 1980; CARMIGNANI *et alii*, 1978, 2004). Dopo le ultime fasi compressive del Tortoniano (Fase Toscana), che dettarono la struttura attuale dell'Appennino, iniziarono delle fasi disgiuntive (e.g. BONINI & SANI, 2002) da porre in relazione anche con l'apertura del Mar Tirreno. L'edificio strutturale appena formatosi venne così interessato da dislocazioni in blocchi rigidi lungo sistemi di faglie dirette molto inclinate, che portarono allo sviluppo di strutture ad horst ed graben allineate in direzione appenninica (NO-SE), con associati fenomeni vulcanici di varia natura. In seguito a questa distensione si formarono, anche in Toscana, una serie di depressioni tettoniche allungate in direzione appenninica, nelle quali si sono depositati sedimenti neautoctoni sia continentali che marini (CANTINI *et alii*,

2001; ACOCELLA & ROSSETTI, 2002; BALESTRIERI *et alii*, 2003; CENTAMORE & NISIO, 2003). Nel Villafranchiano, anche a seguito di rilevanti movimenti isostatici, il mare si ritirò fino all'attuale linea di costa, con la formazione di depressioni intramontane delimitate da faglie dirette, parallele alla catena appenninica (fig. 4) come il Casentino da cui l'Arno prende origine.

La ricostruzione delle successioni paleogeografiche della catena lungo la trasversale Appenninica permette di distinguere da ovest ad est, al di sopra di un basamento ercinico metamorfosato che affiora sulle Apuane e sui Monti Pisani, i seguenti domini sedimentari (fig. 5):

- 1) Dominio Ligure, costituito da relitti di basamento oceanico e coperture sedimentarie pelagiche e flysch scollati dal loro substrato;
- 2) Dominio Subligure, formato da una successione sedimentaria profondamente tettonizzata;
- 3) Dominio Toscano, rappresentato da due successioni strutturali diverse quali:
 - i)* il Dominio Toscano Interno (Falda Toscana), che comprende i termini non metamorfici.

ii) il Dominio Toscano Esterno (Complesso Metamorfico), caratterizzato da facies metamorfiche, formazioni paleozoiche del basamento ercinico e da una copertura mesozoica e terziaria;

4) Unità del Monte Cervarola, costituita esclusivamente da flysch del Miocene Medio;

5) Dominio Umbro-Marchigiano, che rappresenta la zona più esterna della catena e costituisce una successione sedimentaria scollata a livello delle evaporiti triassiche.

2.4. - CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEL BACINO DELL'ARNO

La complessa geologia della Toscana si riflette anche nella grande varietà di formazioni geologiche, prevalentemente sedimentarie, che affiorano nel Bacino del Fiume Arno. Esse sono rappresentate prevalentemente da unità flyschoidi e arenaceo-marnose della Serie Toscana o delle Serie Liguri, da argilliti a struttura caotica, sempre delle falde liguri, e da depositi incoerenti (ghiaie, sabbie, limi ed argille) dei cicli marini e fluvio-lacustri post-orogениci.

Le principali litofacies dei sottobacini, la cui composizione certamente influenza il chimismo delle acque che vi scorrono, possono essere riassunte nel modo seguente (<http://www.adbarno.it>, fig. 6 e fig. 7):

1) Casentino: è costituito da rocce arenacee quarzose-feldspatiche del Miocene Inferiore e Medio (Arenarie del Cervarola e M.te Modino) e da rocce pelitiche con intercalati livelli lapidei di età Cretaceo Superiore-Eocene;

2) Val di Chiana: è dominata da depositi argillosi pliocenici e sabbiosi neogenici e da sedimenti alluvionali più recenti, attribuibili alla dinamica fluvio-lacustre legata all'evoluzione recente del reticolo idrografico;

3) Val di Sieve: è caratterizzata principalmente dalla estesa presenza della Formazione Marnosa-Arenacea appartenente alla Serie Umbro-Romagnola e affiorante al suo margine nord-orientale a formare lo spartiacque appenninico principale col versante adriatico; al suo interno si trovano sedimenti lacustri e fluvio-lacustri del Pleistocene Inferiore e Superiore. Secondariamente, nei rilievi dell'alta Val di Sieve, affiora la Formazione dell'Alberese (Paleocene-Eocene Medio), costituita da rocce calcaree e calcareo-marnose;

4) Valdarno Superiore: nei suoi rilievi orientali prevalgono le arenarie turbiditiche quarzoso-feldspatiche della Formazione di M.te Modino - M.te Cervarola, mentre le aree di pianura sono caratterizzate da argille siltose che giacciono sopra

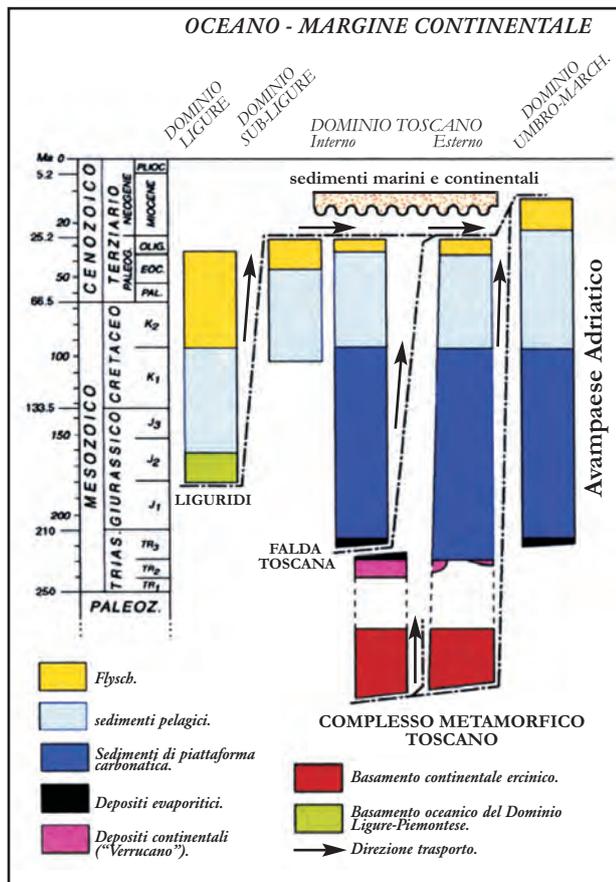


Fig. 5 - Successioni schematiche delle principali unità tettoniche dell'Appennino settentrionale (da <http://www.adbarno.it>).

- Main tectonic units in successions sketch of the Northern Apennines (free-of-charge downloading from <http://www.adbarno.it>).

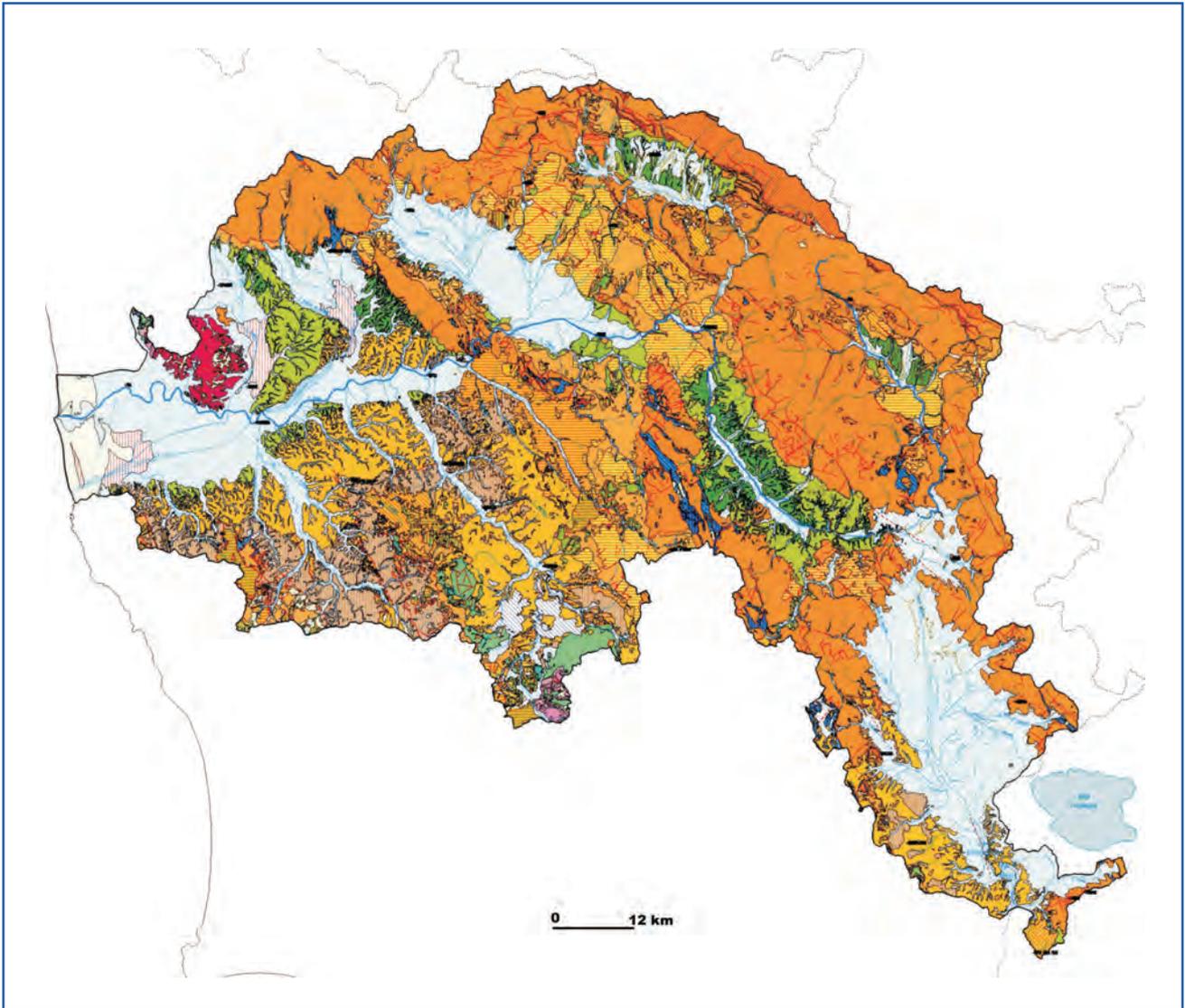


Fig. 6 - Carta Litologica del Bacino dell'Arno (da <http://www.adbarno.it>).
 - Lithological map of the Arno Basin (free-of-charge downloading from <http://www.adbarno.it>).

ciottoli, ghiaie e sabbie del Pliocene Superiore e del Pleistocene Inferiore;

5) Valdarno Medio: è costituito da litologie della Formazione del “Macigno” (Oligocene Medio-Superiore) e della Successione Toscana non Metamorfica e da depositi scistosi, marnoso-calcarei ed arenacei, appartenenti alle formazioni alloctone del Complesso Ligure, rappresentate dal Gruppo Alberese/Pietraforte-Unità di M. Morello, che caratterizzano i rilievi che circondano la città di Firenze; come in altri sottobacini, le aree intramontane e le conoidi del Bisenzio e dell'Ombrone, nonché la piana alluvionale in prossimità di Firenze, sono formate da depositi alluvionali recenti sovrimposti ai sedimenti pliocenici;

6) Valdarno Inferiore: nel sottobacino affiorano numerosi litotipi, tra gli altri, le formazioni

paleozoiche metamorfiche dei M.ti Pisani del massiccio omonimo, con al di sopra ancora rocce metamorfiche del Verrucano s.l. (filladi, quarziti e conglomerati quarzosi); seguono quindi le successioni della Serie Toscana. Nella parte sommitale dell'alta Val di Nievole è presente il “Macigno”. Limitate estensioni di rocce mesozoiche affiorano nell'alta Valle del Cascina e nella zona di Montecatini Terme, mentre rilevanti porzioni di calcari triassici si ritrovano localmente nell'alta Val d'Elsa. Infine, le formazioni litologiche maggiormente diffuse del Valdarno Inferiore sono rappresentate dalle successioni marine del Pliocene Inferiore e Medio (argilloso-limose), del Pliocene Superiore (sabbie marine gialle) e dai depositi eolici olocenici, legati alla dinamica costiera del bacino (sabbie costiere).



Fig.7 - Legenda delle unità litologiche del Bacino dell'Arno (<http://www.adbarno.it>).
 - Legend of the lithological units of the Arno Basin (free-of-charge downloading from <http://www.adbarno.it>).

2.5. - CARATTERISTICHE PLUVIOMETRICHE ED IDROGEOLOGICHE

Le caratteristiche idrografiche del Bacino del Fiume Arno sono ricostruibili dai dati e dalle elaborazioni del Servizio Idrografico Italiano (Sezione di Pisa) e dell'Autorità di Bacino.

Il reticolo idrologico principale degli affluenti dell'Arno e dei loro tributari, escludendo cioè il così detto "reticolo minore", presenta una lunghezza complessiva di circa 3280 km di aste, corrispondente ad una densità di reticolo principale di 0.36 km/km².

Durante il trentennio 1960-1991, il deflusso medio annuo, misurato alla stazione di San Giovanni alla Vena (Pisa), è stato di 2574 milioni di m³ (fig. 8). L'elevato valore totale di questa quantità d'acqua è tale da poter soddisfare, potenzialmente, tutte le utenze: potabili, agricole e industriali dell'intero bacino. In realtà, tale potenzialità è limitata dalla non omogenea distribuzione delle portate durante l'arco dell'anno, in conseguenza delle scarse precipitazioni estive, ed anche dall'elevata presenza nel bacino di rocce a bassa permeabilità, che non facilitano un'efficace infiltrazione nel sottosuolo di una parte consistente degli afflussi meteorici invernali e primaverili.

Sulla base della permeabilità, le rocce che affiorano nel bacino possono essere così suddivise (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ARNO, 2001):

- rocce praticamente impermeabili: 14.5%
- rocce a permeabilità bassa: 29.0%
- rocce a permeabilità medio bassa: 31.1%
- rocce a permeabilità medio alta: 23.5%
- rocce a permeabilità alta: 1.9%.

La prevalenza di rocce a bassa permeabilità in parte delle aree montane del bacino e la scarsa presenza di sorgenti perenni importanti, rendono il regime del fiume fortemente torrentizio, almeno nelle aree montane, e quindi strettamente legato al regime delle piogge. Nel periodo autunnale e primaverile, quando le precipitazioni sono più frequenti ed abbondanti, l'acqua piovana si converte in massima parte in ruscellamento superficiale (*runoff*), determinando forti e rapide variazioni di portata nel regime dei corsi d'acqua.

Le precipitazioni medie all'interno del Bacino dell'Arno sono di circa 1000 mm l'anno. Notevoli sono le variazioni in aree aventi caratteristiche diverse per quota topografica, distanza dal mare ed esposizione dei versanti, con valori fino a 2500 mm in alcune zone dell'Appennino tosco-ligure, e valori >600 mm per ampi settori del Valdarno Inferiore (fig. 9). Le maggiori precipitazioni si registrano in corrispondenza dello spartiacque con il Fiume Serchio e nei corsi d'acqua del ver-

sante adriatico, ovverosia, negli alti bacini del Pescia, Nievole, Ombrone e Bisenzio, oltre all'alto Bacino della Sieve, alle alture del Pratomagno e della dorsale del Monte Falterona (Casentino). Le precipitazioni più scarse sono presenti nelle zone collinari del Chianti, nel Valdarno medio e inferiore e nella Val di Chiana.

Dai valori di afflusso e di deflusso riportati in tabella di fig. 8, si distinguono chiaramente le differenze degli apporti meteorici tra le aree che raccolgono le acque degli affluenti di destra e di sinistra dell'Arno. I tributari forniscono valori di deflussi in sintonia con le caratteristiche geologiche ed idrografiche delle aree già descritte. I deflussi più elevati sono quelli dovuti al Fiume Sieve (a Fornacina 446x10⁶ m³/anno) per i tributari di destra, mentre sono quelli del Canale della Chiana (a Pratantico 246x10⁶ m³/anno) per quelli in riva sinistra.

Analizzando ulteriormente i dati delle precipitazioni in funzione dei deflussi (fig. 10) si evidenzia altresì che Canale della Chiana (a Pratantico), Sieve (a Fornacina) ed Elsa (a Castelfranco) costituiscono i sottobacini con i più forti scompensi. In linea generale, le minori differenze fra afflussi e deflussi si hanno nei bacini di quota più alta in quanto le elevate acclività favoriscono il ruscellamento, favorito anche dalle più basse temperature a cui è legata una minore evapotraspirazione; quanto detto è ulteriormente confermato dai valori misurati lungo il corso principale dell'Arno (fig. 11), dove gli afflussi e i deflussi risultano molto simili a Stia, in prossimità della sorgente, rispetto a S. Giovanni alla Vena in prossimità della foce.

2.6. - L'IMPATTO ANTROPICO NELLA VALLE DELL'ARNO

La struttura fisiografica attuale della Valle dell'Arno è il risultato non solo della natura dei terreni e della morfologia del bacino stesso, ma anche della prolungata ed intensa attività antropica, e quindi del tipo di utilizzazione che si è fatta del territorio (e.g. agricoltura, industrializzazione, urbanizzazione). Infatti, i dati raccolti nel 1999 dal Centro Tematico Nazionale per le Acque Interne e Marino-Costiere (CTN-AIM; BUCCI *et alii*, 1999) sui principali agenti inquinanti territoriali provenienti da varie sorgenti, sia naturali che antropiche, e che restano registrati nei parametri delle acque superficiali di scorrimento, confermano che il Bacino dell'Arno è caratterizzato da una eccessiva attività antropica, in termini di carico inquinante pro-capite, pari a quella che si avrebbe in un territorio abitato da circa 8500000 abitanti

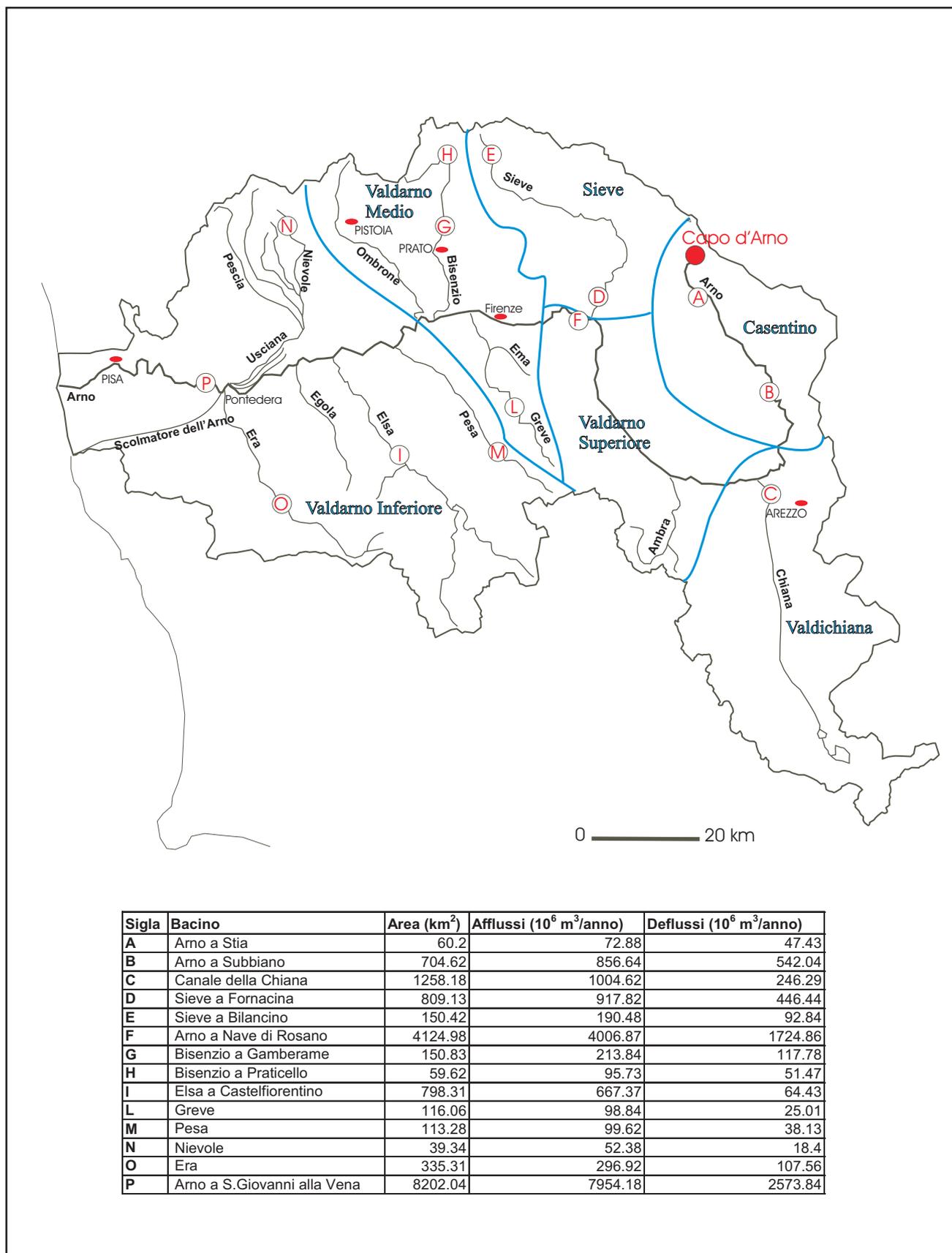


Fig 8 - Carta delle stazioni di misura per deflusso e afflusso per il periodo 1960-1991 (dati da Autorità di Bacino del Fiume Arno, 2001).
 - Map of the runoff and rainfall stations since 1960 to 1991 (data from Autorità di Bacino del Fiume Arno, 2001).

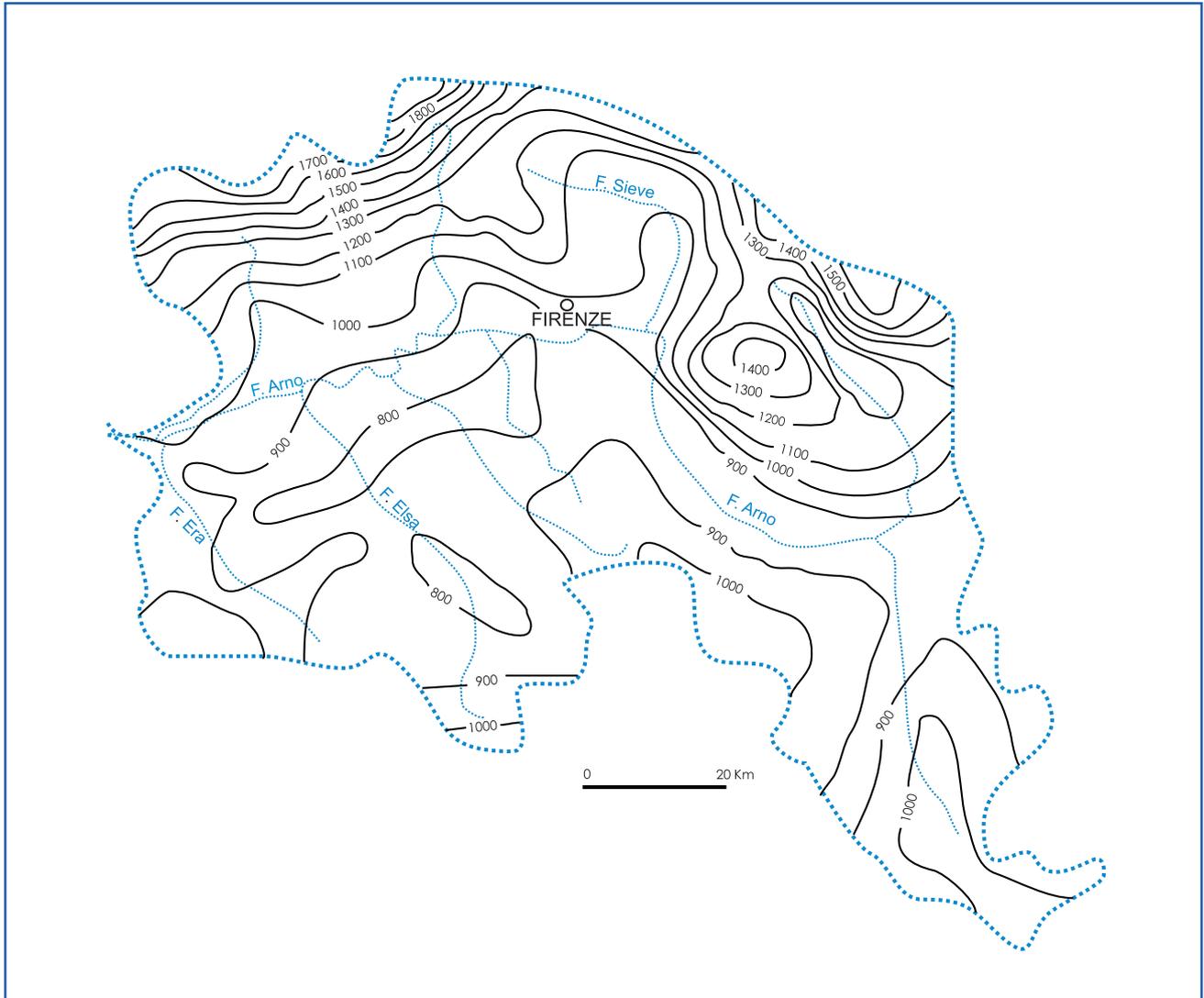


Fig. 9. Distribuzione delle precipitazioni (in mm) nel Bacino dell'Arno (da PRANZINI, 1994).
 - Average (in mm) rainfall in the Arno Basin (from PRANZINI, 1994).

equivalenti (Ab.Eq.: concetto convenzionale che esprime il carico inquinante dovuto a utenze urbane, industriali ed agricolo-zootecniche in termini di BOD: quantità di ossigeno richiesta dai microorganismi aerobi per degradare le sostanze organiche in acqua), mentre invece la popolazione che insiste nell'area è di soli 2.5 milioni. La distribuzione del carico inquinante per area geografica e per origine è riassunta nello schema di fig. 12.

Come riportato dal sito ufficiale dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno (<http://www.adbarno.it>), la capacità effettiva di depurazione di tale carico, ad opera degli impianti esistenti, è stimabile per un corrispondente pari a circa 5000000 Ab.Eq. anche se, di fatto, l'abbattimento reale che si ottiene, è stimato per 4000000 Ab.Eq. ben al di sotto, quindi, di quanto sarebbe necessario per avere una sufficiente qualità ambientale.

2.7. - LE PRINCIPALI FONTI DI INQUINAMENTO LUNGO IL CORSO DELL'ARNO

Come è logico aspettarsi, le principali fonti di inquinamento da attività antropica si concentrano nelle aree più produttive e popolate della Regione Toscana e, quindi, principalmente lungo la Valle dell'Arno, specialmente nelle aree urbane, ed in misura minore nelle aree sottese dai sottobacini. Infatti, dal rapporto CTN-AIM (BUCCI *et alii*, 1999) sui principali corpi idrici nazionali, si rileva come nel Casentino l'Arno riceva solo modesti apporti di inquinanti di origine civile dai principali torrenti quali lo Staggia, l'Archiano, il Corsalone e la Chiassa. La maggior parte dell'inquinamento di origine agricolo-zootecnica proviene dall'area della Val di Chiana, ove la scarsa presenza di impianti depurativi determina un'ampia diffusio-

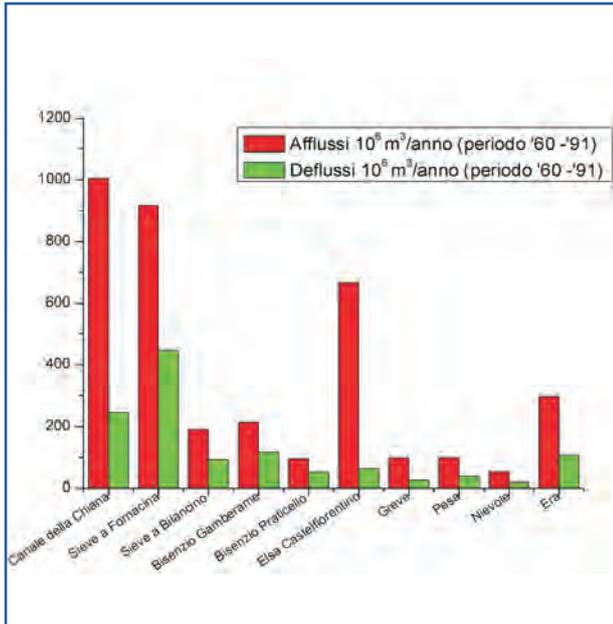


Fig. 10 - Diagramma a barre delle misure di afflussi e deflussi medi annui (periodo '60-'91) per alcuni degli affluenti principali (dati da Autorità di Bacino del Fiume Arno, 2001). Per la localizzazione dei siti di misura, vedi figura 8

- Bar diagrams for some main tributaries of the runoff and rainfall year averages values during 1960-1991 (from Autorità di Bacino del Fiume Arno, 2001). The location of the measuring sites is reported in figure 8

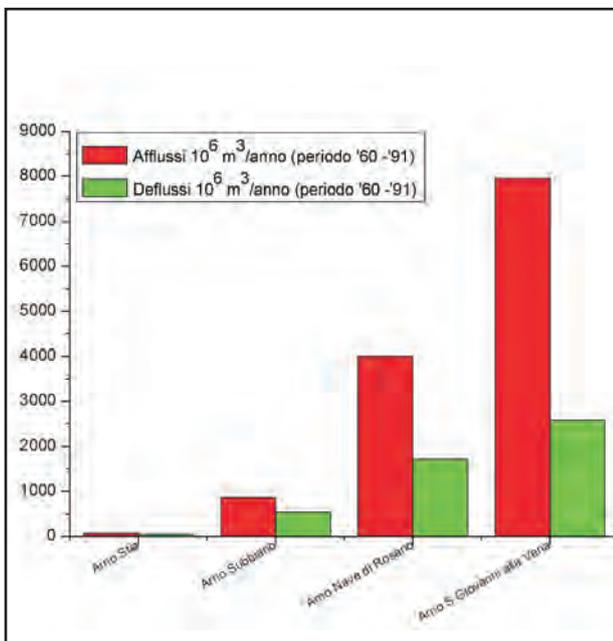


Fig. 11 - Diagramma a barre delle misure di afflussi e deflussi medi annui (periodo '60-'91) per alcuni siti lungo il corso del Fiume Arno (dati da Autorità di Bacino del Fiume Arno, 2001). Per la localizzazione dei siti di misura vedi figura 8

- Bar diagrams for Arno River of the mean annual runoff and rainfall values from 1960 to 1991 (from Autorità di Bacino del Fiume Arno, 2001). The location of the measuring sites is reported in figure 8

ne areale del carico inquinante (fig. 12). Il contributo più elevato proviene dalla Provincia di Arezzo, dove è concentrato il 50% degli allevamenti di suini dell'intero Bacino dell'Arno, mentre gli allevamenti di bovini sono distribuiti per il 25% nelle province di Arezzo, Firenze e Pisa. Come riportato da TOGNOTTI *et alii* (1998), il comprensorio aretino risulta particolarmente compromesso dal punto di vista ambientale in quanto in questa area si trovano anche ingenti scarichi derivanti dalle industrie galvaniche collegate alle attività orafe della zona, con forte impatto sull'ambiente fluviale.

Procedendo lungo il corso principale troviamo il Fiume Sieve con i suoi affluenti che esercitano una pressione ambientale valutata pari a circa 80000 Ab.Eq. derivante, anche dai recenti lavori per la realizzazione della linea ferroviaria ad alta velocità Firenze-Bologna, consistente in escavazioni e scarichi dalle opere di cantieri.

Proseguendo, a valle di Firenze si trovano numerose attività del comprensorio tessile, che esercitano un carico inquinante pari a 1400000 Ab. Eq. (di cui 1100000 depurati), e del comprensorio del cuoio, quest'ultimo con un contributo inquinante di 3200000 Ab. Eq. (di cui 3000000 depurati). Le attività tessili sono prevalentemente localizzate nell'area pratese, mentre il comprensorio del conciario è concentrato nel Valdarno Inferiore, in prossimità dei comuni di Castelfranco di Sotto, S. Croce sull'Arno (dove si effettua la concia al cromo), S. Miniato (dove si utilizza la concia al vegetale con tannini), Montopoli e Fucecchio. All'interno di questo distretto industriale un ruolo importante è quindi rivestito dai bacini del Bisenzio, dell'Ombrone e dal Canale dell'Usciana, che drenano gli scarichi di queste importanti aree industrializzate, influenzando pesantemente sul carico dell'Arno stesso a valle della loro confluenza. Inoltre, alle acque del fiume Ombrone si aggiungono anche quelle dell'area tra Agliana e Pistoia, dove è molto diffusa, e nota a scala nazionale, l'attività vivaistica, con evidenti problemi di inquinamento connessi al massiccio uso di concimi e fitofarmaci. Le acque del Bisenzio e dell'Ombrone pistoiese, che raccolgono i reflui industriali, unitamente ad alcuni degli scarichi civili della città di Prato, vengono però trattate dall'impianto di Baciacavallo a sud di Prato, mentre altri scarichi vengono depurati dagli impianti di Calice e di Poggio a Caiano (fig. 12).

Il Canale Usciana, che accoglie le acque del Torrente Pescia, il corso d'acqua più importante del bacino, veicola i reflui depurati dell'impianto situato in località Veneri, impianto che in parte tratta anche i prodotti derivanti dalle industrie

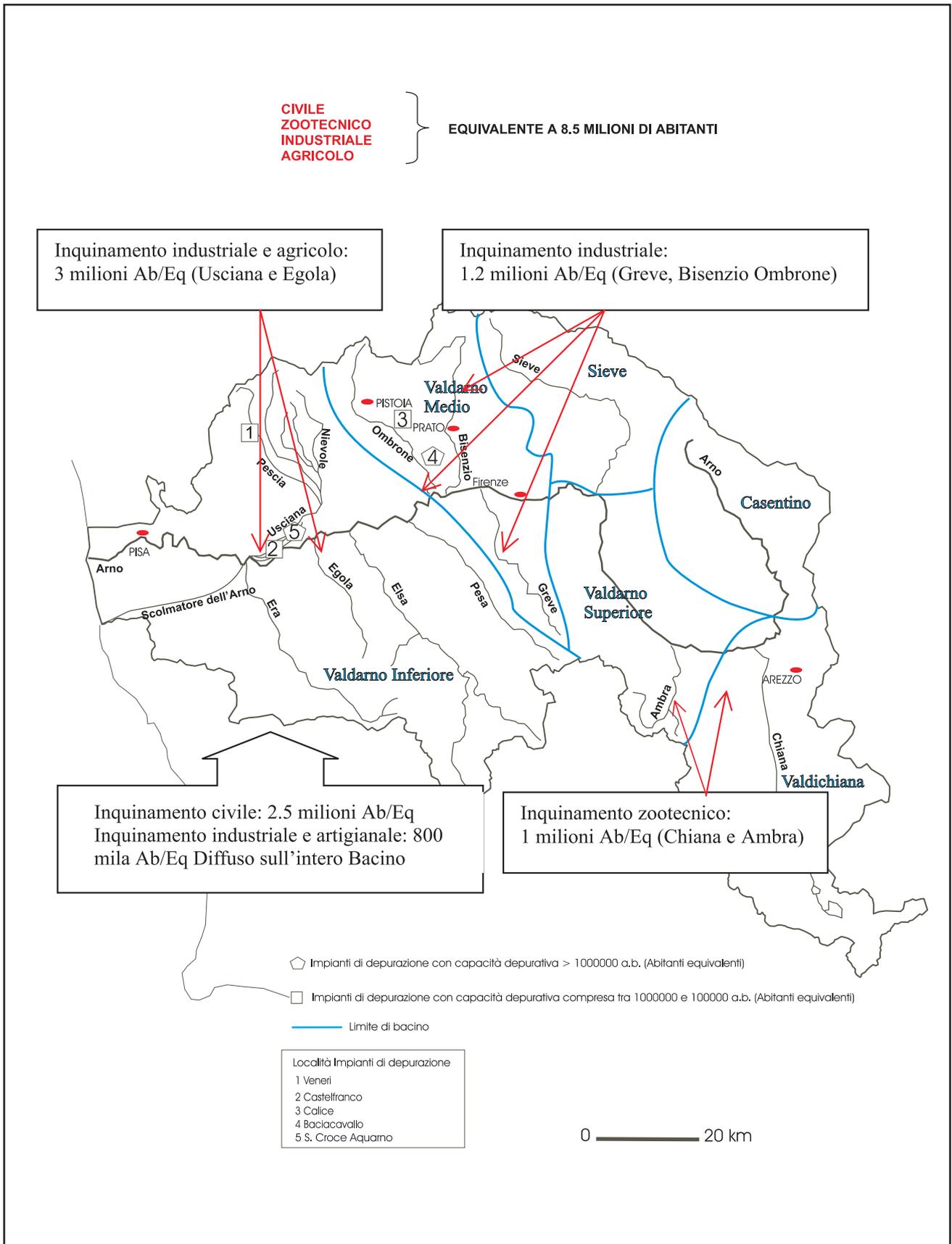


Fig. 12 - Carico inquinante complessivo stimato nel Bacino dell'Arno (da BUCCI *et alii*, 1999; <http://www.adbarno.it>).
Anthropogenic load in the Arno Basin (from Bucci et alii 1999 <http://www.adbarno.it>).

locali. Più a valle il canale riceve gli scarichi depurati degli impianti gestiti dal Consorzio Conciario di Fucecchio e dalla Società Aquarno; a questi si aggiungono i reflui derivanti dall'impianto civile di S. Maria a Monte. Poco prima di immettersi in Arno, l'Usciana riceve anche le acque del Canale Antifosso, nel quale convergono gli scarichi depurati dell'impianto di Castelfranco che tratta liquami civili ed industriali (fig. 12).

Tra gli affluenti di sinistra dell'Arno i maggiori apporti in termini di contributi antropici sono quelli dovuti ai fiumi Pesa, Elsa, Egola e Era. Tra questi il Fiume Pesa, grazie agli impianti di depurazione dei centri abitati e alla buona ossigenazione delle acque a regime torrentizio, presenta contributi inquinanti provocati dagli scarichi civili e produttivi piuttosto limitati, valutabili in 60000 Ab.Eq. Il Bacino dell'Elsa, che contribuisce con un carico pari a 250000 Ab.Eq., è caratterizzato da una variegata attività industriale nel distretto Poggibonsi-Certaldo-Castelfiorentino e da un'ancora rilevante produzione agricola di pianura. L'area intorno ad Empoli rappresenta un'altra delle aree industriali regionali: con le attività produttive del mobile, del comparto delle vetrerie, dei colorifici, della ceramica, dell'industria alimentare e della chimica secondaria. Inoltre, l'attività agricola rappresenta un fattore di pressione ambientale importante, a causa dell'alto impiego di prodotti chimici nelle aree coltivate a mais, girasole, etc. Il Torrente Egola, pur attraversando un territorio prevalentemente collinare e scarsamente antropizzato tra Empoli e Pontedera, veicola in Arno scarichi non depurati provenienti da alcune frazioni dell'alta valle nonché dai paesi di Montaione e Gambassi, per un totale di circa 100000 Ab.Eq.

Infine, il Fiume Era costituisce l'ultimo affluente di sinistra dell'Arno, sul cui territorio vi sono centri importanti, quali Pontedera, Ponsacco e Volterra. A parte un quartiere di Pontedera, che veicola acque depurate, tutti i rimanenti paesi producono scarichi non depurati per un carico complessivo pari a circa 60000 Ab.Eq.